

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Dario Forjan

**IZRAČUN SMANJENJA ŠTETNIH EMISIJA MLAZNIH  
MOTORA PRIMJENOM PROGRAMA UČINKOVITOG  
TROŠENJA GORIVA**

**DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, 2018.

Zagreb, 15. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Zrakoplovne emisije**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 4413

Pristupnik: **Dario Forjan (0135230668)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Izračun smanjenja štetnih emisija mlaznih motora primjenom programa učinkovitog trošenja goriva**

### Opis zadatka:

Analizirati utjecaj ispušnih plinova zrakoplova na okoliš. Objasniti programe za učinkovito trošenje goriva i trgovanje emisijama (općenito, FE i EUETS). Izraditi model za izračun štetnih emisija iz eksploatacije na primjeru zračnog prijevoznika. Izračunati smanjenje emisija primjenom FE programa u operacijama zračnog prijevoznika i usporediti sa trendovima ušteda velikih zračnih prijevoznika. Dati smjernice razvoja u području primjene metoda za učinkovito trošenje goriva.

Mentor:



---

izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI  
ZAGREB

**DIPLOMSKI RAD**

**IZRAČUN SMANJENJA ŠTETNIH EMISIJA MLAZNIH  
MOTORA PRIMJENOM PROGRAMA UČINKOVITOG  
TROŠENJA GORIVA**

**CALCULATION OF TURBOJET ENGINE EMISSION REDUCTION  
THROUGH IMPLEMENTATION OF FUEL EFFICIENCY  
PROGRAMME**

Mentorica: Izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Student: Dario Forjan

JMBAG: 0135230668

Zagreb, rujan 2018.

## **ZAHVALA**

Želio bih zahvaliti gospodinu Dinu Kučiću, specijalistu za održivi razvoj Croatia Airlinesa i mentorici Aniti Domitrović na detaljnim stručnim konzultacijama, te detaljnim i korisnim savjetima koje su mi pružali tokom izrade rada.

# **IZRAČUN SMANJENJA ŠTETNIH EMISIJA MLAZNIH MOTORA PRIMJENOM PROGRAMA ZA UČINKOVITO TROŠENJE GORIVA**

## **SAŽETAK**

Globalno zatopljenje rastući je problem koji se odnosi na cijeli svijet. Postoji velika mogućnost da se dosegnu granice nakon kojih će utjecaj zatopljenja biti prevelik i promjene postati nepovratne što bi imalo katastrofalne posljedice. Ulažu se posebni naponi kako bi se temperatura zadržala ispod povećanja od 2°C u odnosu na predindustrijsku razinu, a cilj je zadržati je i ispod 1.5°C. Budući da je ekološka svjesnost sve veća, ICAO teži ograničiti količinu zrakoplovnih emisija postavljajući međunarodni standard i ograničenja. Slično već postoji unutar Europske Unije u obliku EU ETS. Zračni prijevoznici, kako bi izbjegli plaćanje kazni i ograničili količinu emisija koje ispuštaju, razvijaju programe učinkovitog trošenja goriva, što primjerice uključuje ugradnju novih i učinkovitijih motora, promjene na oplati zrakoplova, promjene unutar putničke kabine, smanjenje mase zrakoplova i slično. Predstavljene su neke od mnogih mogućnosti uštede goriva i smanjenja zrakoplovnih emisija te njihova isplativost ovisno o zračnom prijevozniku i tipu zrakoplova koje koristi.

**KLJUČNE RIJEČI:** Globalno zatopljenje; emisije zrakoplova; ICAO; EU ETS; Programi učinkovitog trošenja goriva; razvoj; održivost

## **CALCULATION OF TURBOJET ENGINE EMISSION REDUCTION THROUGH IMPLEMENTATION OF FUEL EFFICIENCY PROGRAMME**

### **SUMMARY**

Global warming is something that has been an upgrowing problem for decades. There is a strong possibility that certain limits will be reached after which the effect of global warming will become irreversible. Great effort is being invested in keeping the temperature below the increase of 2°C according to predindustrial values and the goal is to keep it even below 1.5°C. Having in mind that ecological awereness is increasing, ICAO wants to limit the amount of aircraft emissions by setting the international standard and limitation. Similar is already being conducted in European Union in the term of EU ETS. To avoid paying additional money by polluting the air too much with their emissions, the airliners are developing fuel efficiency programmes which include, but is not limited to, buying and mounting the new and more

efficient engines, modifications on the airframe, modifications inside the cabin, aircraft weight reduction and similar. Some of the many opportunities for fuel consumption reduction and emission reduction will be presented along with the profitability depending on the aircraft they use in their fleet.

**KEY WORDS:** Global warming; Aircraft emission; ICAO; EU ETS; Fuel efficiency programme; Development; Sustainability

# SADRŽAJ

1	UVOD .....	1
2	KARAKTERISTIKE MLAZNOG GORIVA I ISPUŠNI PLINOVI ZRAKOPLOVA S UTJECAJEM NA OKOLIŠ.....	3
2.1	Zrakoplovno gorivo za mlazne motore Jet A-1 .....	3
2.2	Izgaranje .....	5
2.3	Stabilnost goriva .....	6
2.4	Tečnost.....	6
2.5	Koeficijent temperaturnog proširenja .....	6
2.6	Točka ledišta.....	7
2.7	Isparivost .....	7
2.8	Električna vodljivost.....	8
2.9	Rukovanje i prijevoz goriva .....	8
2.10	Voda u gorivu .....	8
3	ZRAKOPLOVNE EMISIJE .....	10
3.1	Utjecaj zračenja .....	10
3.2	Ugljikov dioksid .....	10
3.3	Dušikovi oksidi (NO <sub>x</sub> ) .....	11
3.4	Vodena para i kondenzacijski tragovi .....	12
3.5	Sumpor i čestice.....	13
4	TRGOVANJE ZRAKOPLOVNIM EMISIJAMA .....	15
4.1	Europski sustav trgovanja emisijama (EU ETS) .....	15
4.2	Protokol iz Kyota.....	23
4.3	Pariški sporazum iz 2015. godine.....	25
4.4	ICAO CORSIA (eng. Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) .....	28
5	METODE UČINKOVITOG TROŠENJA GORIVA (eng. FE – Fuel Efficiency) 31	

5.1	Korištenje zakrivljenih vrhova krila (eng. winglets) .....	38
5.2	Utjecaj mase zrakoplova na potrošnju goriva.....	40
5.3	Otpor zrakoplova .....	40
5.4	Sustavi unutar zrakoplova .....	41
5.5	Pomoćna jedinica napajanja (eng. APU – Auxiliary Power Unit).....	41
5.6	Lakši dijelovi zrakoplova .....	44
5.7	Novi materijali i smanjenje mase strukture zrakoplova .....	46
5.8	Elisno-mlazni motori na kraćim rutama leta .....	46
5.9	47 Mlazni motori s visokim stupnjem optočnosti(eng. High bypass ratio turbofan)	
5.10	Optočno-mlazni motori s reduktorom.....	48
5.11	Lakši dijelovi pri izradi i dijelovi unutar putničke kabine .....	49
5.12	Smanjenje potrošnje goriva povećanjem mase .....	50
5.13	Pranje zrakoplova i motora .....	51
5.14	Operativne procedure za bolju učinkovitost trošenja goriva .....	51
5.15	Operacije neprekinutog snižavanja (eng. CDOs - Continuous Descent Operations) 52	
5.16	Voženje jednim motorom kod dvomotornih zrakoplova .....	53
5.17	Zemaljska električna jedinica napajanja .....	53
5.18	Suradnja zemaljskih jedinica na aerodromu, zrakoplovnih prijevoznika i kontrole letenja54	
5.19	Težište .....	54
5.20	Gorivo za let.....	55
5.21	Voženje zrakoplova.....	57
5.22	Starenje i trošenje aerodinamičke strukture .....	58
5.23	Odabir optimalne visine i brzine leta .....	60

6	IZRAČUN ŠTETNIH EMISIJA I UŠTEDA PRIMJENOM PROGRAMA ZA UČINKOVITO TROŠENJE GORIVA NA PRIMJERU ZRAČNOG PRIJEVOZNIKA.....	64
---	---	----



6.1	Lufthansa grupa .....	65
6.2	Turkish Airlines .....	68
6.2.1	Zelena politika .....	68
6.2.2	Smanjenje potrošnje goriva .....	68
6.3	Croatia Airlines.....	70
6.3.1	Flota Croatia Airlinesa.....	70
6.3.2	Pokretači promjena prema smanjenju potrošnje goriva.....	70
6.3.3	Korištenje pomoćne jedinice napajanja .....	71
6.3.4	Voženje zrakoplova i voženje pomoću jednog motora.....	71
6.3.5	Potrošnja goriva starenjem zrakoplova i pogonske grupe .....	72
6.3.6	Čišćenje zrakoplova i motora .....	74
6.3.7	Smanjenje potrošnje goriva uvodeći lakše materijale.....	75
7	SMJERNICE RAZVOJA U PODRUČJU PRIMJENE METODA ZA UČINKOVITO TROŠENJE GORIVA.....	77
7.1	Open-rotor motori.....	77
7.2	Aerodinamika zrakoplova.....	78
7.3	Nova vrsta goriva.....	80
8	ZAKLJUČAK .....	83
	Literatura .....	84
	Popis slika.....	88
	Popis tablica.....	90

## 1 UVOD

Poznato je da je globalno zatopljenje rastući problem već desetljećima za što je velikom većinom zaslužan čovjek. Zbog takozvanog efekta staklenika, prosječna temperatura Zemljine površine i nižih slojeva atmosfere postaje sve veća iz godine u godinu. Kao jedni od najznačajnijih stakleničkih plinova navode se vodena para ( $H_2O$ ), ugljikov dioksid ( $CO_2$ ), ugljikovodici ( $CH_x$ ) i dušikovi oksidi ( $NO_x$ ). Svi navedeni, kao i sumporovi oksidi ( $SO_x$ ), čađa, ugljikov monoksid ( $CO$ ) i drugi, javljaju se kao produkti izgaranja zrakoplovnog goriva mlaznih motora.

Globalno zatopljenje nije uzrokovano isključivo krivnjom zrakoplovne industrije. Udio kojim zrakoplovne emisije pridonose stakleničkim plinovima unutar Europe, prema podacima Europske agencije za okoliš, iznosi otprilike 3%, a na globalnoj razini otprilike 2%. Uzevši u obzir da se količina zrakoplovnih emisija računa prema putničkom kilometru, kaže se da osoba koja leti iz Londona do New Yorka i nazad otprilike proizvede istu razinu emisija kao i prosječna osoba u Europskoj Uniji grijući svoj dom cijelu zimu. Procjenjuje se da bi do 2020. godine, na globalnoj razini, količina zrakoplovnih emisija mogla biti i do 70% veća u odnosu na 2005. godinu, a prema prognozama Međunarodne agencije za civilno zrakoplovstvo (ICAO) te bi se brojke do 2050. godine mogle povećati između 300% i 700%.

Svakog dana vidljivo je povećanje zračnog prometa s prognozama Europske organizacije za sigurnost zračne plovidbe (EUROCONTROL) o čak dvostrukom povećanju prometa do 2030. godine u odnosu na sadašnje stanje. Svjesnost o potrebi donošenja regulacija i kontrolom zrakoplovnih emisija pokrenuta je 1970. u SAD-u kad je Američki kongres donio „Zakon o čistom zraku“. Na sjednici skupštine ICAO-a održane u Beču 1971. godine dalje je postavljeno pitanje zrakoplovnih emisija i potrebe za donošenjem standarda od strane ICAO-a za kontrolu zrakoplovnih emisija za određene tipove zrakoplovnih motora. Odluka usvojena na toj sjednici stavila je na ICAO odgovornost da vodi razvoj međunarodnog civilnog zrakoplovstva na način da pridonosi svim ljudima na planeti i da se uz to postigne siguran i redovit razvoj zračnog prometa i kvalitetno okruženje za ljude. Kasnije, 1973. godine osnovana je studijska grupa za emisije zrakoplovnih motora kao dio ICAO akcijskog programa s obzirom na okoliš. Nadalje, 1977. godine osnovan je Odbor za emisije zrakoplovnih motora (CAEE – *Committee on Aircraft Engine Emissions*) s ciljem razvitka posebnih standarda za ograničenja sastojaka produkata izgaranja zrakoplovnih motora. Ti standardi usvojeni 1981. godine

postavili su ograničenja za emisije dima ostalih plinovitih onečišćivača turbo-mlaznih i optočno-mlaznih motora. Predloženo je da taj materijal postane kao jedan od zasebnih Dodataka (*Annex*) ICAO-a, ali nakon usuglašavanja sa zemljama članicama ICAO-a ustanovljeno je da treba uključiti sve čimbenike utjecaja zrakoplova na okoliš u jedan Dodatak. Tako Dodatak 16 ICAO-a sadrži Svezak 1 (*Volume I – Aircraft Noise*) vezan za regulaciju buke zrakoplovnih motora i Svezak 2 (*Volume II – Aircraft Engine Emissions*) sa odredbama vezanima za emisiju zrakoplovnih motora. Moglo bi se reći da je navedeni dokument poslužio kao kamen temeljac za buduće odredbe na svjetskoj razini kao i razini zajednica o čemu će detaljnije biti pisano u trećem dijelu ovog diplomskog rada.

Zračni prijevoznici trebali su ispuniti uvjete koji se pred njih postavljaju po pitanju zrakoplovnih emisija jer bi u protivnom plaćali novčane kazne ili bili podvrgnuti različitim ograničenjima. Navedeno se odnosi i na odredbe i regulacije izdane od strane zajednica, država u kojima lete. Jedno od važnijih prekretnica i važan početak u smanjenju emisija CO<sub>2</sub> predstavlja i uvođenje zrakoplovnih emisija CO<sub>2</sub> u Europsku shemu trgovanja emisijama uvedene od strane Europske komisije za letove unutar Europske Unije i letove koji dolaze i odlaze iz EU. Kao odgovor na zahtjeve koji se predstavljaju pred njih, zračni prijevoznici razvijaju vlastite metode za učinkovito trošenje goriva kako bi smanjili količinu ispušnih plinova, prvenstveno CO<sub>2</sub> i dušikovih oksida i izbjegli plaćanje kazni.

U ovom diplomskom radu bit će predstavljene razne mogućnosti koje zračni prijevoznici koriste u svojim metodama za učinkovito trošenje goriva. Bit će prikazane i izračunate moguće uštede goriva i zrakoplovnih emisija, poglavito emisija ugljikovog dioksida s danim primjerima vezanim za neke od utjecajnih zračnih prijevoznika. Rad je podijeljen u 8 poglavlja.

Nakon uvoda, drugi, treći i četvrti dio rada predstaviti će osobine zrakoplovnog goriva, emisija koje se ispuštaju i Europski program za trgovanje emisijama. Detaljnije o potrošnji goriva, kao i podaci o uštedama jednog zračnog prijevoznika kroz primjenu metoda za učinkovito trošenje goriva zrakoplovnih mlaznih motora bit će predstavljeno u petom, i šestom dijelu ovog rada.

Sedmi dio rada sadržava neke od mnogih smjernica i tendencija razvoja metoda za učinkovito trošenje goriva uzevši u obzir njihovu isplativost i privrženost zračnih prijevoznika istima, te će na temelju svega predstavljenog biti izveden zaključak.

## 2 KARAKTERISTIKE MLAZNOG GORIVA I ISPUŠNI PLINOV ZRAKOPLOVA S UTJECAJEM NA OKOLIŠ

Da bi se mogao analizirati utjecaj ispušnih plinova zrakoplovnih mlaznih motora potrebno je prvo razumjeti kako oni nastaju i koji su to plinovi. Bit će opisani produkti izgaranja zrakoplovnog goriva za mlazne motore *JET-A1*, mješavine kerozina i različitih aditiva, ovisno o zahtjevima.

### 2.1 Zrakoplovno gorivo za mlazne motore Jet A-1

Razvoj zrakoplovnih mlaznih motora započeo je u Njemačkoj i Velikoj Britaniji 1930-ih godina. Obavljeno je nekoliko testnih letova, a najviše su se upotrebljavali u Drugom Svjetskom ratu. Budući da se smatralo da su mlazni motori relativno neosjetljivi na karakteristike goriva, zbog svoje široke raspoloživosti, koristio se kerozin. Nakon Drugog Svjetskog rata, zračne snage SAD-a razvile su gorivo široke primjene, mješavinu ugljikovodika čije je vrelište u rasponu benzina i kerozina. To je gorivo ponovno bilo izabrano zbog svoje dostupnosti, ali je imalo podosta nedostataka u odnosu na kerozinska goriva kao što je povećana potrošnja zbog isparavanja na većim visinama, veće opasnosti od zapaljenja tijekom rukovanja na zemlji, a uz to, istraženo je da su nesreće pri kojima je došlo do zapaljenja zrakoplova imale puno veću smrtnost. Razvitkom zrakoplovne industrije 1950-ih godina koriste se goriva kerozinskog tipa, *Jet A* (uglavnom u Americi) i *Jet A-1*. [1]

Važna razlika između ova dva tipa goriva su točke ledišta. Ledište *Jet A-1* iznosi  $-47^{\circ}\text{C}$ , dok za *Jet A* iznosi  $-40^{\circ}\text{C}$ , što *Jet A-1* čini korisnijim za duže međunarodne letove i letove na polarnim rutama tijekom zime, ali u samom procesu proizvodnje zbog točke ledišta moguće je proizvesti manje *Jet A-1*. Sačinjena su od velikog broja ugljikovodika, a čak ni moderne metode analize nisu dovoljno razvijene da bi razdvojile sve pojedine tipove molekula, kojih može biti i tisuće, u zrakoplovnom gorivu. Raspon veličina molekula (njihovih masa) ograničen je destilacijom, točkom ledišta i drugim zahtjevima, a nekoliko tih ugljikovodika prikazano je tablicom 1. Kerozinska goriva imaju broj ugljikovih atoma između 8 i 16, a većina ugljikovodika u zrakoplovnom gorivu su parafini, naftalini i aromati. Što je veći broj ugljikovih atoma u spoju unutar iste klase, veća je točka vrelišta. Točka ledišta također se povećava većim brojem ugljikovih atoma unutar iste klase, ali na nju uvelike utječe oblik molekule. [1]

Tablica 1 - Ugljikovodici pronađeni u zrakoplovnom gorivu za mlazne motore

Naziv spoja	Formula	Klasa ugljikovodika	Točka vrelišta		Točka leđišta	
			°C	(°F)	°C	(°F)
n-Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	n-Paraffin	125.7	(258.2)	−56.8	(−70.2)
2-Methylheptane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	Isoparaffin	117.6	(243.8)	−109.0	(−164.3)
1-Methyl-1-ethylcyclopentane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	Naphthene	121.5	(250.7)	−143.8	(−226.8)
Ethylcyclohexane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	Naphthene	131.8	(269.2)	−111.3	(−168.4)
o-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	Aromatic	144.4	(292.0)	−25.2	(−13.3)
p-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	Aromatic	138.4	(281.0)	+13.3	(+55.9)
Cis-Decalin	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	Naphthene	195.8	(384.5)	−43.0	(−45.4)
Tetralin	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub>	Aromatic	207.6	(405.8)	−35.8	(−32.4)
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	Aromatic	217.9	(424.3)	+80.3	(+176.5)
n-Dodecane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	n-Paraffin	216.3	(421.4)	−9.6	(+14.8)
2-Methylundecane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	Isoparaffin	210.0	(410.0)	−46.8	(−52.3)
1-Ethyl-naphthalene	C <sub>12</sub> H <sub>12</sub>	Aromatic	258.3	(497.0)	−13.8	(+7.1)
n-Hexylbenzene	C <sub>12</sub> H <sub>18</sub>	Aromatic	226.1	(439.0)	−61.0	(−77.8)
n-Hexadecane	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	n-Paraffin	286.9	(548.4)	+18.2	(+64.7)
2-Methylpentadecane	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	Isoparaffin	281.6	(538.9)	−7.0	(+19.4)
n-Decylbenzene	C <sub>16</sub> H <sub>26</sub>	Aromatic	297.9	(568.2)	−14.4	(+6.1)

Izvor: ([https://www.cgabusinessdesk.com/document/aviation\\_tech\\_review.pdf](https://www.cgabusinessdesk.com/document/aviation_tech_review.pdf)) – 19.travnja 2018.

Budući da se izgaranjem goriva stvara potisak, energetska vrijednost i kvaliteta gorenja jedni su od najvažnijih zahtjeva pri proizvodnji. Uz njih prate se još i stabilnost goriva, svojstvo podmazivanja, tečnost, isparljivost, ne-korozivnost i čistoća. Osim što gorivo služi kao izvor energije, koristi se i kao hidraulička tekućina u kontrolnim sustavima motora kao i sredstvo za hlađenje određenih dijelova sustava goriva. Energetska vrijednost goriva definira se kao toplota dobivena izgaranjem određene količine goriva pri određenim uvjetima. Količina dobivene topline ovisi o tome je li voda dobivena tijekom izgaranja ostala u obliku vodene pare ili se kondenzirala u tekućinu. Ako voda prijeđe u tekuće stanje govori se o bruto energetske vrijednosti, a ukoliko ostane u obliku vodene pare radi se o neto energetske vrijednosti. [1] To je vrijednost koja se koristi pri usporedbi goriva budući da na ispuhu motora voda izlazi kao para. Ona se iskazuje kao količina energije po jedinici mase ili kao količina energije po jedinici volumena. Mjerne jedinice u skladu SI sustava su MJ/kg i MJ/L. Energetska vrijednost različitih goriva varira budući da se energetske vrijednosti svakog pojedinog ugljikovodika razlikuju.

Ukratko, goriva manje gustoće imaju veću energetska vrijednost po jedinici mase, a goriva veće gustoće imaju veću energetska vrijednost po jedinici volumena što je vidljivo na tablici 2.

**Tablica 2 - Povezanost gustoće goriva i energetske vrijednosti**

Vrsta goriva	Gustoća pri 15° C (60°F)		Uobičajena energetska vrijednost			
	g/mL	lb/U.S. gal	po jedinici mase		po jedinici volumena	
			MJ/kg	Btu/lb	MJ/L	Btu/gal
Zrakoplovni benzin	0.715	5.97	43.71	18,800	31.00	112,500
Mlazno gorivo:						
Wide-cut (JP4, Jet B)	0.762	6.36	43.54	18,720	33.18	119,000
Kerozin (Jet A, Jet A1)	0.810	6.76	43.28	18,610	35.06	125,800

Izvor: ([https://www.cgabusinessdesk.com/document/aviation\\_tech\\_review.pdf](https://www.cgabusinessdesk.com/document/aviation_tech_review.pdf)) – 19. travnja 2018.

## 2.2 Izgaranje

Izgaranje u mlaznim motorima događa se neprekidno, za razliku od isprekidanog izgaranja u klipnim motorima. U ranom procesu izgaranja dolazi do stvaranja malih ugljikovih, krutih čestica. Te čestice nastavljaju gorjeti pod visokom temperaturom i tlakom komore za izgaranje. Apsorpcija tog infracrvenog zračenja od strane stjenka komore za izgaranje dodatno povećava toplinu komore dobivenu normalnim izgaranjem. Ta povećana temperatura stjenka komore za izgaranje može dovesti do pukotina i preuranjenog otkaza motora. Ukoliko te čestice nisu potpuno izgorjele unutar komore, također mogu oštetiti i lopatice turbine. Goriva velikog aromatskog i naftalenskog udjela formiraju više ugljikovih čestica pa je udio tih ugljikovodika strogo kontroliran. Iz prakse, nepotpuno izgaranje čestica ugljika vidljivo je u obliku dima koji nastaje iza nekih motora. Bolje miješanje zraka i goriva daje bolje rezultate izgaranja, potpunije izgaranje, a samim time i manje formiranje čestica ugljika. Važno je spomenuti da je za kontinuirano izgaranje goriva potreban dobar omjer para goriva i zraka. Ta smjesa mora biti unutar granica zapaljivosti. Smjese sa nedovoljnom količinom para goriva nalaze se ispod granica zapaljivosti, a ukoliko smjesa sadrži previše para, smjesa se nalazi iznad granica zapaljivosti i neće gorjeti. Za kerozinska goriva, donja granica zapaljivosti iznosi 0.6% volumena pare goriva u zraku, a gornja granica 4.7% volumena pare goriva u zraku. [2]

Točka paljenja je najniža temperatura na kojoj su pare goriva zapaljive u prisutnosti izvora paljenja. Na temperaturi točke paljenja isparilo je taman toliko tekućine da dovede

smjesu para i zraka iznad donje granice zapaljivosti. Minimalna točka paljenja za Jet A i Jet A-1 gorivo iznosi 38°C.

## 2.3 Stabilnost goriva

Stabilnim gorivom naziva se gorivo čija se svojstva ne mijenjaju. Čimbenici koji mogu doprinijeti štetnim promjenama u gorivu uključuju vrijeme (stabilnost pri pohrani) i izloženost visokim temperaturama u motoru (temperaturna stabilnost). Nestabilnost goriva uključuje kemijske reakcije, od kojih neke dovode do oksidacije. Nastaju hidroperoksidi i peroksidi koji ostaju otopljeni u gorivu, ali daljnjim reakcijama dolazi do nastanka netopivih čestica koje mogu začepiti filtre za gorivo i nakupiti se na stjenkama sustava za gorivo, smanjujući protok goriva. Stoga, u gorivo se često dodaju antioksidansi fenoli (*eng. hindered phenols*) čija je najveća dopuštena količina 24 mg/L. [1] Uz to, gorivo se testira na način da se dovodi preko zagrijane aluminijske površine, a zatim kroz filter prikuplja svaki mogući kruti produkt. Time se provjerava utjecaj na dva osjetljiva područja motora: područje izmjene topline gorivo-ulje motora i mlaznice za ubrizgavanje. Trenutno se to ispituje testerom za oksidaciju nastalu temperaturnim utjecajem (*eng. JFTOT – Jet Fuel Thermal Oxidation Tester*) pod regulacijom Američkog udruženja za provjeru i materijale (*eng. ASTM – American Society for Testing and Materials*). [3]

## 2.4 Tečnost

Jedno od svojstava koje mlazno gorivo treba imati je tečnost, sposobnost da slobodno teče iz spremnika prema motorima. Kao mjera tečnosti koristi se viskoznost i točka leđišta goriva. Ovo svojstvo je vrlo važno zbog izloženosti vrlo niskim temperaturama na većim visinama i na hladnijim mjestima. Gorivo za mlazne motore spada u tekućine male viskoznosti. To je važno jer sustav ubrizgavanja goriva kroz mlaznice dozira onu količinu kapljica goriva dovoljnu da brzo ispari i pomiješa se sa zrakom. Iz tog razloga postavlja se gornja granica dozvoljene viskoznosti goriva.[1]

## 2.5 Koeficijent temperaturnog proširenja

Koeficijent temperaturnog proširenja (*eng. Coefficient of Thermal Expansion*) je mjera koja pokazuje porast volumena s promjenom temperature. Tekućine povećavaju volumen

porastom temperature. Uobičajena vrijednost koeficijenta temperaturnog proširenja za goriva kerozinskog tipa iznosi 0.00099 po °C. To znači da bi se 3.785L (1 galon) volumen povećao za 4% pri povećanju temperature od 40°C, a vrijedi i obrnuto. Gorivo se tokom leta hladi pa će biti manje zapremnine nego na zemlji. To se smanjenje može izračunati po principu danom za povećanje temperature. [1],[4]

## 2.6 Točka ledišta

Kao što je spomenuto, točka ledišta još jedan je od vrlo važnih pokazatelja kvalitete goriva. Budući da se sastoji od velikog broja ugljikovodika, svakog sa svojom točkom ledišta, gorivo ne prelazi u kruto stanje na način na koji to čini voda. Hlađenjem goriva u kristale se prvo pretvaraju oni ugljikovodici s najnižim ledištem pa se u tom trenutku gorivo iz homogene tekućine pretvara u tekućinu sa kristalima, daljnjim hlađenjem formira se bljuzga, a zatim se daljnjim padom temperature formira gotovo čvrsti blok ugljikovodika. Točka ledišta zrakoplovnog goriva definira se kao temperatura pri kojoj se zadnji kristal ugljikovodika topi zagrijavanjem goriva koje je prethodno bilo ohlađeno do krutog stanja. Ukratko, to znači da je točka ledišta goriva iznad temperature pri kojoj potpuno prelazi u kruto stanje. Točka ledišta određuje i sposobnost da se gorivo pumpom dovede iz spremnika do motora. Testirano je da sposobnost dovodenja goriva u motore ostaje u prihvatljivim razinama pri temperaturama otprilike 4°C do 15°C ispod točke ledišta. [5]

## 2.7 Isparivost

Iduće svojstvo učinkovitosti goriva je isparivost, tendencija goriva da isparava. Dva fizička pokazatelja isparivosti goriva su tlak pare i tip destilacije. Više isparivo gorivo ima veći tlak pare i niže temperature početne destilacije. Isparivost je važna jer gorivo treba ispariti prije gorenja. Treba biti oprezan jer prevelika isparivost može dovesti do nepotrebnih gubitaka ili gušenja sustava goriva. Jedno je od glavnih razlika između tipova goriva. Kerozinska goriva su relativno ne-ispariva. Imaju Reidov tlak pare otprilike 1 kiloPaskal (kPa) ili 0.14 psi (*eng. pound per square inch*). Reidov tlak pare definira se kao apsolutni tlak pare i računa se pri temperaturi od 37.8°C kao što je određeno testnom metodom ASTM-D-323. [6]



## 2.8 Električna vodljivost

Kretanjem goriva kroz cijevi, crijeva, ventile, filtre, stvara se statički elektricitet. Brzina kojom taj statički elektricitet nestaje proporcionalna je sposobnosti tekućine da provodi struju. Čisti ugljikovodici su nevodljive tvari, ali u gorivu se također nalaze i neki od vodiča kao što su voda, fenoli, naftalenska kiselina. Vodljivost goriva se uobičajeno izražava jedinicama vodljivosti (*eng. CU-conductivity units*), gdje je jedna jedinica vodljivosti jednaka jednom pico Simensu po metru ( $1CU=1\text{ pS/m}$ ). Kerozinska goriva obično imaju vodljivost između 1 i 20 CU. Za usporedbu, deionizirana voda ima vodljivost od otprilike 10 milijuna CU. Filtriranje ili brzo upumpavanje tekućine koja je relativno slab električki vodič kao što je JET-A1 može dovesti do bržeg stvaranja statičkog elektriciteta nego što bi on mogao nestati. To može dovesti do stvaranja iskre, zapaljenja i eksplozije ukoliko je mješavina para goriva i zraka u blizini zapaljivosti. Da bi se to izbjeglo, sustavi za upravljanje gorivom su uzemljeni, ograničava se brzina upumpavanja i određuje se vrijeme čekanja prije nego što se gorivo izloži zraku. [7]

Također, kao što je spomenuto već ranije, u JET-A1 miješaju se i aditivi koji pospješuju električnu vodljivost goriva, a nazivaju se anti-statičkim aditivima. Ti aditivi ne sprječavaju nastanak električnog naboja, već samo povećavaju brzinu nestajanja naboja.

## 2.9 Rukovanje i prijevoz goriva

Zrakoplovno gorivo tijekom svoje proizvodnje, prijenosa i upotrebe dolazi u dodir s različitim materijalima. Stoga, bitno je da gorivo ne korodira bilo koji od tih materijala, a posebno one u sustavu goriva zrakoplova. Uobičajeno, spremnici goriva su aluminijski, a neki dijelovi sustava goriva sadržavaju čelik i druge metale. Spremnici također mogu imati razna brtvila ili premaze pa proizvođači motora i zrakoplovnih konstrukcija provode testiranja na odgovarajuće gorivo prije nego dopuste upotrebu određenog materijala za korištenje unutar sustava goriva. Neki od korozivnih elemenata koji bi se mogli pronaći u gorivu su neke organske kiseline i metanethiol. Također, natrij, kalij i drugi alkalni metali koji se gorivu pojavljuju u tragovima mogu prouzročiti koroziju na turbini motora. [1]

## 2.10 Voda u gorivu

Čisto gorivo znači gorivo bez prisutnosti krutih čestica i slobodne vode. Čestice poput hrđe, zemlje, prašine i drugih mogu začepiti filtre goriva i povećati trošenje pumpe za gorivo.

Voda, uz to što ne gori, smrzava se na niskim temperaturama što uvelike utječe na protok goriva. Voda u gorivu također može izazvati koroziju nekih metala i razvitak mikroorganizama. Mlazno gorivo je pri samoj proizvodnji sterilno, ali brzo može postati ispunjeno mikroorganizmima iz zraka i vode, uglavnom bakterijama i gljivicama. Krute tvari koje proizvode često mogu dovesti do začepljenja filtra, a neki organizmi proizvode tvari na bazi kiselina koje mogu ubrzati koroziju metala. Najbolji način za sprječavanje nastanka mikroorganizama je održati količinu slobodne vode u gorivu i spremnicima što niže je moguće. Ukoliko mikroorganizmi postanu problem, mogu se koristiti određeni biocidi, a ponekad je potrebno i mehaničko čišćenje. [1],[8]

### 3 ZRAKOPLOVNE EMISIJE

Dva su glavna izvora zrakoplovnih emisija, mlazni motor i pomoćna jedinica napajanja (*eng. APU-Auxiliary power unit*). Većina zrakoplovnog goriva izgara u zraku, na visini. Stoga, provode se mnoga istraživanja i usporedbe zrakoplovnih emisija ispuštenih u zraku i na zemlji. Kada bi gorivo bilo sačinjeno od čistih ugljikovodika, njihovim potpunim izgaranjem nastali bi ugljikov dioksid i voda. Kao što je spomenuto iz uvoda i vidljivo u karakteristikama goriva, stvaran broj produkata je puno veći. Najvažniji produkti i njihov utjecaj bit će opisani u nastavku.

#### 3.1 Utjecaj zračenja

Utjecaj zračenja (*eng. radiative forcing*) definira se kao razlika između sunčeve topline apsorbirane od strane Zemlje i količine energije izračene nazad prema svemiru. Uzroci koji pridonose promjenama Zemljinog klimatskog sustava i utječu na Zemljino zračenje prisiljavajući temperaturu da raste ili pada dijelom su klimatskog utjecaja. Pozitivni utjecaj zračenja znači da Zemlja prima više Sunčevog zračenja nego što ga zrači u svemir. Ta pozitivna razlika uzrokuje zagrijavanje. Isto tako, negativni utjecaj zračenja znači da Zemlja zrači više energije u svemir nego što je prima pa dolazi do hlađenja. Utjecaj zračenja se obično mjeri u tropopauzi, a izražava je u jedinicama watta po metru kvadratnom Zemljine površine ( $\text{W/m}^2$ ). [9]

#### 3.2 Ugljikov dioksid

Kada se spominju zrakoplovne emisije u prvi plan iskaču emisije ugljikovog dioksida kao najproblematičnijeg stakleničkog plina i jednog od najodgovornijih za globalno zatopljenje. Prema istraživanjima, ispuštanje tog plina na velikim visinama nema posebice različit učinak u odnosu na njegovo ispuštanje na zemlji. Na globalnoj razini, udio emisija kojim zrakoplovstvo doprinosi  $\text{CO}_2$  iznosi 2%, a IPCC (*eng. Intergovernmental Panel on Climate Change*) predviđa da će ta količina iznositi 3% do 2050. godine. Brojkama, za 2017. godinu, zračnim prijevozom ispušteno je 859 milijuna tona  $\text{CO}_2$  od ukupnih 40 milijardi tona. 65% tog iznosa nastalo je međunarodnim letovima, a ostalih 35% domaćim letovima. Razvijenije zemlje svijeta više doprinose tih 2% od nekih slabije razvijenih zemalja. Kada bi se to usporedilo unutar transportnog sustava, taj udio iznosi 12%, za usporedbu naspram cestovnog prijevoza čiji udio

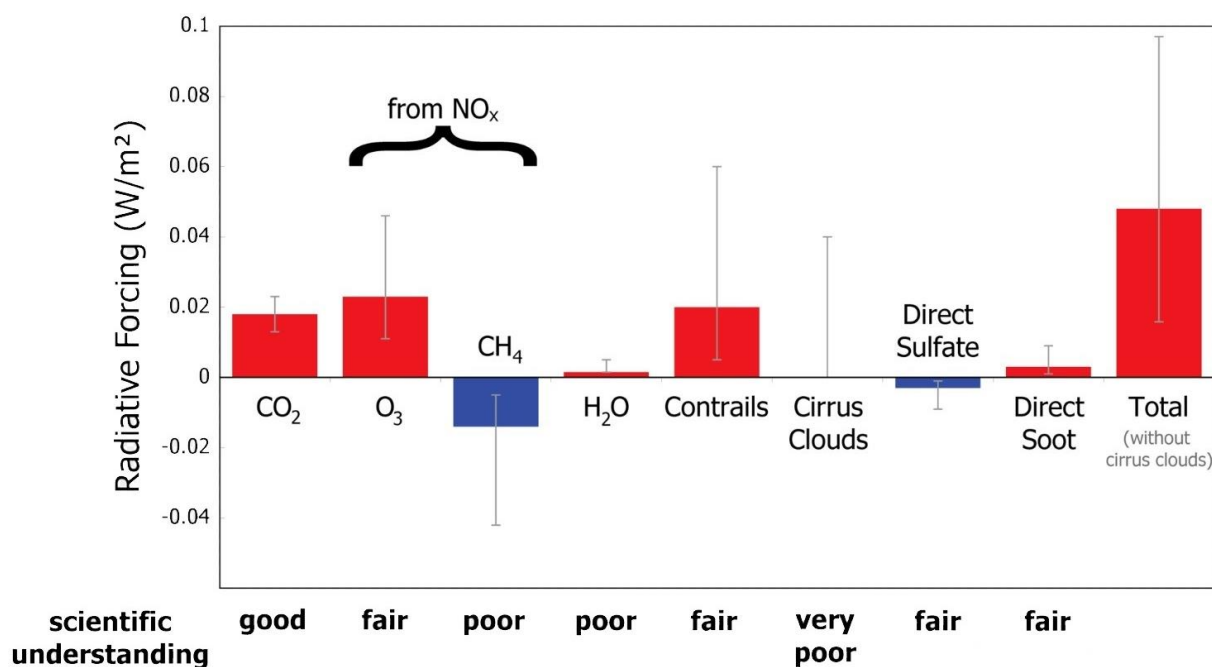
iznosi 74%. Gledano na ukupne emisije zrakoplova, CO<sub>2</sub> iznosi otprilike 7 do 8%. [50] Budući da letenje omogućava putovanje na puno udaljenija odredišta nego što bi to bilo moguće drugim prijevoznim sredstvima, količina emisija izračunava se prema putničkim i tonskim kilometrima kako bi se dobili usporedivi podaci. Emisije ugljikovog dioksida proporcionalne su količini potrošenog goriva gdje se izgaranjem jedne tone goriva dobiva otprilike između 3.15 i 3.18 tona CO<sub>2</sub>. [40]

Zemlja toplinu dobiva od Sunčevog zračenja. Dio tog zračenja odbija se od atmosfere i vraća u svemir, a oko 50% zračenja prolazi i zagrijava Zemljinu površinu. Ta se toplina kasnije vraća prema svemiru u obliku toplinskog, infracrvenog zračenja. Ugljikov dioksid kao staklenički plin utječe na zagrijavanje Zemljine površine na način da vraća otprilike 30% infracrvenog zračenja prema površini, a zadržava dio i time zagrijava donje slojeve atmosfere. [10]

Jedna od posljedica koja nastaje ispuštanjem većih emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu je i promjena pH vrijednosti oceana. Voda iz oceana je blago lužnata (pH > 7). Predviđa se da se otprilike 30-40% ugljikovog dioksida nastalo ljudskim utjecajem otapa u oceanima, rijekama i jezerima. Dio reagira s vodom tvoreći ugljičnu kiselinu, koja se razdvaja u bikarbonatni ion i vodikov ion, povećavajući kiselost oceana. [11]

### 3.3 Dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>)

Za razliku od ugljikovog dioksida, utjecaj dušikovitih oksida snažniji je na većim visinama. Na visinama približno tropopauzi, što je otprilike iznad 8-13km do 20km u umjerenom pojasu u kojima putnički zrakoplovi obično i lete, emisije dušikovitih oksida su osobito učinkovite u formiranju ozona (O<sub>3</sub>) koji ima velik utjecaj na globalno zagrijavanje, kao što je prikazano slikom 1. Za razliku od ugljikovog dioksida čije su koncentracije globalne, koncentracije dušikovitih oksida mogu biti na lokalnoj razini. Emisije dušikovitih oksida također smanjuju prisutnost još jednog stakleničkog plina, metana (CH<sub>4</sub>), i time doprinosi efektom hlađenja, ali ne u toj mjeri da bi nadomjestio stvaranje ozona. [12]



Slika 1 - Utjecaj zračenja emisijama nastalih izgaranjem zrakoplovnog goriva [12]

### 3.4 Vodena para i kondenzacijski tragovi

Vodena para također je jedan od produkta izgaranja goriva i spada u stakleničke plinove. Tako nastala para na velikim visinama i niskim temperaturama, kondenzira se u kapljice koje tvore kondenzacijske tragove (*eng. contrails*). Kondenzacijski tragovi su vidljive linije oblaka koje nastaju u hladnoj, vlažnoj atmosferi i smatra se da imaju utjecaj na globalno zatopljenje, sličan ili nešto niži od utjecaja ugljikovog dioksida. Za razliku od ugljikovog dioksida koji se u atmosferi može zadržati stotinama godina, vodena para neprestano kruži. Većina nastaje isparavanjem oceana, a povećanom količinom pare u zraku, povećava se i temperatura jer je se manje probija prema svemiru. Povećanom temperaturom, povećava se i isparavanje. Ovo je bilo važno spomenuti jer takva količina vodene pare znatno povećava osjetljivost atmosfere na ugljikov dioksid i ostale stakleničke plinove koji doprinose zagrijavanju. Može se uvidjeti zatvorenu petlju, ugljikov dioksid doprinosi povećanju temperature, povećana temperatura doprinosi povećanom isparavanju, povećane količine pare dalje zagrijavaju zemljinu površinu, a sve to uzrokuje sve obilnije kiše i poplave.

Čestom pojavom kondenzacijskih tragova koji ostaju duže vrijeme u zraku, uočena je pojava oblaka cirusa čiji je učinak na globalno zatopljenje pretpostavljen i još uvijek u fazi istraživanja. Istraživanjem iz 2015. godine uočeno je da nakon pojave „umjetno“ nastalih

cirusa bila smanjena razlika u temperaturi između dana i noći u usporedbi s danom prije i danom nakon nastanka. Na južnom području sjeverne Amerike izračunata je razlika od otprilike 2.7 – 3.3 °C. [13] Slični podaci dobiveni su istraživanjem znanstvenika sa Sveučilišta Wisconsin-Whitewater Davida J. Travisa nakon događaja 11. rujna 2001. kada su na tri dana obustavljeni svi letovi u Sjedinjenim Američkim Državama.

Istraživanje koje je provela NASA (eng. *National Aeronautics and Space Administration*) u suradnji s Njemačkim i Kanadskim istraživačkim centrima kroz 2013 i 2014 godinu pokazalo je kako upotreba bioloških goriva potencijalno može smanjiti stvaranje kondenzacijskih tragova, a samim time i cirusa. Ključna razlika ovdje je stvaranje manje količine čestica čađe i drugih sitnih čestica koji služe kao medij, jezgra za stvaranje kapljica vode, odnosno leda na većim visinama s niskim temperaturama. Test je proveden s dva zrakoplova na visini krstarenja. Prvi avion letio je koristeći mješavinu Jet A1 i biogoriva HEFA (eng. *hyprocessed esters and fatty acids*), a iza njega letio je avion sakupljajući uzorke čestica koje ispušta. Dobiveni su rezultati smanjenja čestica čađe od 50 do 70%. [14]

### 3.5 Sumpor i čestice

Sumpor je jedan od elemenata koji se po prirodi nalazi u sirovoj nafti, nastao od ostataka morskih organizama, algi, bakterija... Postoji nafta s malom količinom sumpora koja se naziva „slatka“ sirovina i nafta s povećanom količinom sumpora, „kisela“ sirovina. Sumpor je nepoželjan u gorivu, stoga se različitim metodama rafinira iz sirovine. Najučestalija metoda je hidrodesulfurizacija (eng. *HDS – hydrodesulfurization*) koja koristi vodik u prisutnosti topline i katalizator kako bi sumpor pretvorio u vodikov sulfid ( $H_2S$ ). Određena količina sumpora ostaje u rafiniranim produktima nafte za široku primjenu pa tako i u gorivu za mlazne motore. Strogo je kontrolirana njegova količina, a gorivo može sadržavati od 15 do 3000mg sumpora po litri goriva. Najčešće taj broj iznosi 600mg sumpora po litri goriva budući da bi daljnje smanjenje sumpora u gorivu povećalo cijene proizvodnje i prodaje. Sumpor reagira s vodom i tvori sumpornu kiselinu ( $H_2SO_4$ ), snažnu korozivnu kiselinu. Ta kiselina prolazi i može oštetiti turbinu i zidove komore za izgaranje. Jedan je to od razloga zašto u zemljama sa zagađenijim zrakom zrakoplovni motori imaju nešto kraći vijek upotrebe. Sumpor iz zraka prolazi kroz kompresor, pretvara se u kiselinu u komori za izgaranje i nagriza dijelove motora. [1]

Mjerenjima je dokazana visoka koncentracija čađe unutar komore za izgaranje zrakoplovnog motora, čak dva ili tri puta veća od one na izlazu iz komore. Kao što je

spomenuto, zrakoplovno gorivo sastoji se od alifatskih (jednostruke ugljikove veze) molekula broja ugljika od  $C_8$  do  $C_{16}$ . U komori izgaranja, mlaznicama se ispušta gorivo i miješa s vrućim, komprimiranim zrakom. Molekule goriva isparavaju iz kapljica puštenih kroz mlaznice, zagrijavaju se i približavaju zoni paljenja. Neke molekule goriva razgrađuju se i pucaju pri povišenoj temperaturi i odsutnosti kisika mijenjajući svoj oblik nepovratno što se naziva procesom pirolize. Takve molekule tvore radikale i ione koji se mogu ponovno povezati tvoreći prve nakupine krute tvari. U slučaju da se to dogodi, nastanak čađe počinje i prije nego molekule goriva dopiju u područje paljenja. Međutim, glavni dio nastanka čađe pojavljuje se unutar područja paljenja, u području bogatom gorivom. Molekule goriva pucaju procesom pirolize i oksidacije. Isto kao i prije navedeno, nastaju radikali i ioni goriva čije ponovno povezivanje tvori prve makromolekule. Te prve nakupine krute tvari, makromolekule, su vrlo niske gustoće. Nastankom prvih nakupina u području gorenja izaziva se daljnji nastanak i rast molekula, njihovo daljnje nakupljanje i povećanje gustoće. Povećanje gustoće rezultat je nastanka sve više i više duplih ugljikovih veza. Molekule s jednostrukim vezama izgaraju, a ono što ostaje funkcija je vremena zadržavanja u komori, temperature izgaranja. Čađa se najbolje može vidjeti u obliku dima na ispuhu motora, često u fazi polijetanja zrakoplova i kod zrakoplova sa starijim motorima. Nastanak čađe problem je miješanja goriva i zraka. Rješenje za to dano je novom generacijom motora, odnosno komorama za izgaranje koje koriste smjese manjeg omjera goriva i zraka, već pomiješaju i isparenu smjesu (*eng. LPP - Lean, Premixed, Prevaporized*). [1],[15]

## 4 TRGOVANJE ZRAKOPLOVNIM EMISIJAMA

Stalnim rastom zračnog prometa postavlja se problematika povećanja emisija ugljikovog dioksida i ostalih štetnih produkata izgaranja goriva. Svako smanjenje zrakoplovnih emisija popraćeno je dolaskom novih zrakoplova u flotu zračnih prijevoznika kako bi bili u korak s povećanom potražnjom i razvitkom zračnog prijevoza. Potrebno je uložiti velik trud ukoliko se namjerava održati cilj od sprječavanja povećanja globalne temperature za 2°C u odnosu na predindustrijsku razinu, ali neke su mjere ipak poduzete i bit će opisane u nastavku.

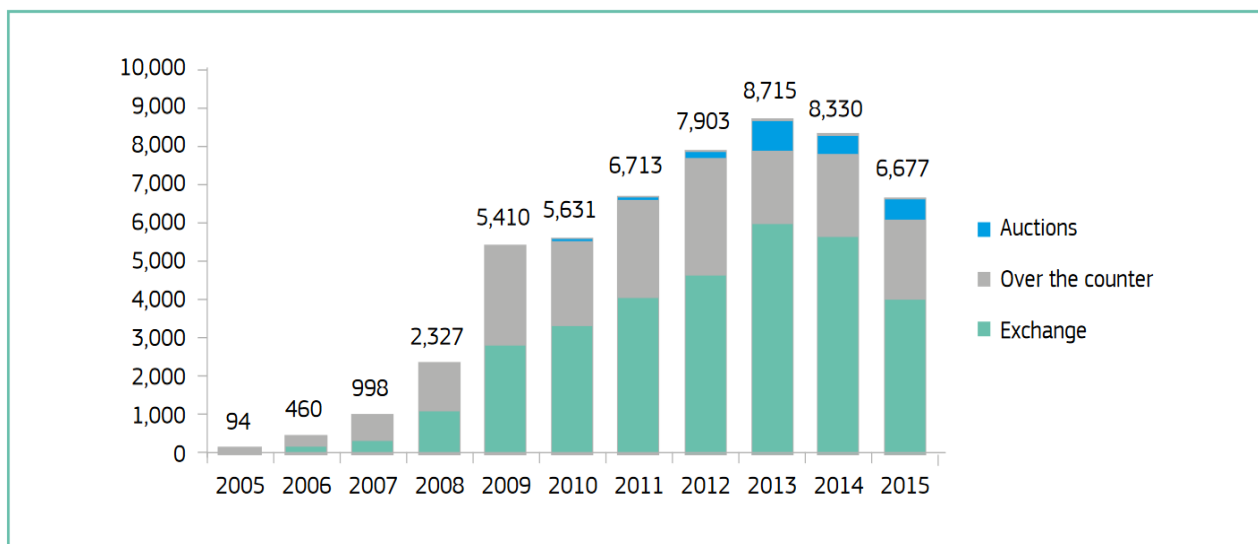
### 4.1 Europski sustav trgovanja emisijama (EU ETS)

U uvodu je spomenut Dodatak 16, svezak 2, Međunarodne organizacije za civilno zrakoplovstvo. Na Europskoj razini, važan je datum 13.10.2003. kada je napisana direktiva 2003/87/EZ Europskog Vijeća i Europskog Parlamenta o uspostavi sustava trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova unutar Unije. Nekoliko godina kasnije, 19.11.2008. navedena direktiva je nadopunjena kako bi se uključio zračni prijevoz u projekt trgovanja emisijama unutar Zajednice. Konačno, zrakoplovni sektor je uključen u trgovanje emisijama u siječnju 2012. godine. Odluku o broju emisijskih jedinica koje se puštaju u trgovanje emisijama donijela je Europska Komisija na temelju prosjeka godišnjih emisija za 2004, 2005 i 2006 godinu uzevši u obzir sve letove koji su se odvijali iz i na Europskim aerodromima. Uzevši u obzir srednju vrijednost godišnjih emisija za godine 2004-2006, koja je iznosila oko 220 milijuna tona CO<sub>2</sub>, broj emisijskih jedinica u 2012 godini iznosio je 212 892 052 tone, a za godine od 2013 pa nadalje iznosi 208 502 525 tona, 95% emisija zračnog prijevoza u povijesti. Podaci o potrošnji dobiveni su izračunima EUROCONTROL-a u odnosu na određene tipove aviona i točnim podacima o udaljenosti zračnih puteva, informacijama dobivenih od 30 zračnih prijevoznika i izračunom, utjecajem pomoćne jedinice napajanja (APU). Razlog zbog kojeg je upravo to razdoblje od 2004. do 2006. godine uzeto u obzir je zbog znatnog povećanja zračnog prometa u tom razdoblju pa do danas.

Teži se manjim količinama emisija na način da se smanjuje broj emisijskih jedinica, povećavajući njihovu vrijednost u trgovanju. Trenutno se u zračnoj industriji 82% emisijskih jedinica daje besplatno zračnim prijevoznicima, 15% CO<sub>2</sub> emisijskih jedinica izdaje se kroz dražbe, a ostalih 3% ostaje kao posebna zaliha za kasniju podjelu zračnim prijevoznicima u razvitku i novodolazećim prijevoznicima na tržištu. Besplatne emisijske jedinice dijele se na temelju broja prevezenih putnika, robe i prijeđene udaljenosti. U projektu trgovanja emisijama



sudjeluje 28 država članica Europske Unije zajedno sa još Islandom, Lihtenštajnom i Norveškom. Taj projekt trenutno pokriva 45% ukupnih stakleničkih plinova Europske Unije. Zračni prijevoznici kupuju određenu količinu emisijskih jedinica. Jedna emisijska jedinica jednaka je jednoj toni emisija CO<sub>2</sub> ili jednakoj količini dva druga snažna staklenička plina, dušikovom(I)oksidu (N<sub>2</sub>O) i perfluorokarbonima (umjesto veza ugljika i vodika, postoje veze ugljika i fluora i obično nastaju proizvodnjom aluminijske). Ukoliko ih ne potroše, mogu ih prodati ili zadržati za budućnost, a u slučaju da netko od njih prijeđe dozvoljenu količinu emisija plaća velike novčane kazne koje su za 2013. godinu iznosile 100 eura po toni emisija, a rastu iz godine u godinu (2005-2007 su iznosile 40 eura po prekoračenoj toni emisija). Količina ispuštenih emisija mora odgovarati količini predanih emisijskih jedinica na kraju godine. Ovo bi trebalo potaknuti prijevoznike da smanjuju svoje emisije ulažući u učinkovitiju tehnologiju i prijelaz prema izvorima energije manje ovisnima o ugljiku. Zemlje članice dužne su informirati Komisiju o tome kako koriste novac dobiven prodajom emisijskih jedinica na dražbama, a ti podaci vidljivi su u godišnjem izvješću o klimatskim promjenama (*eng. annual Climate action progress reports*). Cijena emisijskih jedinica određuje se temeljem ponude i potražnje. U 2015. godini, u prosjeku 26 milijuna emisijskih jedinica mijenjalo se na dnevnoj bazi. Ukupno je to iznosilo preko 6.6 milijardi emisijskih jedinica ukupne vrijednosti od oko 49 milijardi eura. Dio tog novca koristi se u svrhu razvitka tehnologija koje koriste manje količine ugljika kao i razvitak tehnologija koje koriste obnovljive izvore energije. Slikom 2 prikazana je količina emisijskih jedinica u milijunima tona koja je mijenjana unutar Europske unije i koja je prodana na dražbi za razdoblje do 2015. godine. Vidljivo je da je u 2015. godini zamijenjeno oko 4 milijarde tona emisija, dodatnih 2 milijarde promijenjeno je međusobnim sporazumima između dvije stranke, a 660 milijuna prodano je na dražbama. Time se dolazi do spomenute brojke od ukupno 6.6 milijardi emisijskih jedinica.[16]



Source: Bloomberg LP, ICE, EEX, NYMEX, Bluenext, CCX, Greenmarket, Nordpool, UNFCC. Also using Bloomberg New Energy Finance estimations.

Slika 2 – Količina mijenjanih emisijskih jedinica unutar Europe za razdoblje do 2015. godine [16]

Razvoj EU ETS odvija se u četiri faze:

1. Faza (2005-2007) naziva se još i fazom ispitivanja. Predstavljen je EU ETS kao najveće tržište ugljikom. Broj emisijskih jedinica koje se puštaju u opticaj procijenjen je kao prevelik. Kazne za prekoračenje količine emisija iznosile su 40 eura po toni, a pokrivala su se samo emisije CO<sub>2</sub> iz proizvodnje energije i industrija koje uvelike zavise o njima.
2. Faza (2008-2012) u kojoj su se Island, Norveška i Lihtenštajn pridružili projektu. Broj emisijskih jedinica smanjen je za 6.5%, ali zbog ekonomske krize, smanjili su se zahtjevi za kupnjom. To je dovelo do velikog plusa po pitanju neiskorištenih emisijskih jedinica što se kasnije odrazilo na cijenu emisija. Također, to je faza u kojoj je u projekt uvršten i zračni promet.
3. Faza (2013-2020) 1.1.2013. predstavljene su velike promjene kada se postepeno količina besplatnih emisijskih jedinica daje u dražbu. To je ujedno i datum kada se Hrvatska pridružila projektu. Kao prvi korak u stabiliziranju tržišta zbog viška emisijskih jedinica nastalih uslijed ekonomske krize, 900 milijuna emisijskih jedinica pomaknuto je iz razdoblja 2013-2015 za razdoblje 2019-2020. Dodatno, tih 900 milijuna prebačeno je u pričuvu čiji je cilj neutralizirati negativne utjecaje nastalog viška emisijskih jedinica na tržištu i poboljšati stabilnost sustava na buduće neplanirane događaje. Svake godine, 15. svibnja Europska

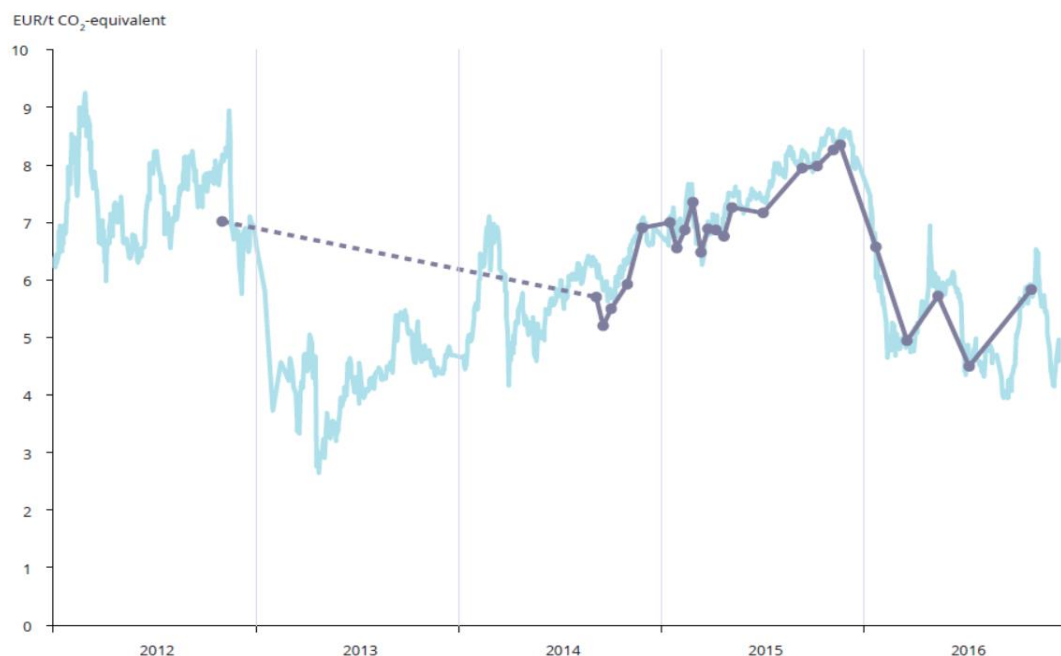
Komisija objavljuje ukupni broj emisijskih jedinica u opticaju, broj istih u pričuvi ili broj koji je otpušten iz pričuve.

4. Faza (2021-2030) za koju je Europska Komisija predložila promjene u srpnju 2015. godine sa zahtjevima da ta faza bude u korak sa zaključcima Europskog Vijeća na temu klimatskih i energetske promjena do 2030. godine. To uključuje smanjenje od najmanje 40% emisija stakleničkih plinova u odnosu na razine iz 1990. godine, povećanje od 27% energetske učinkovitosti i da barem 27% energije koja se koristi bude iz obnovljivih izvora. Cilj od 40% smanjenja emisija trebao bi se postići na način da sektori koje obuhvaća ETS smanje emisije za 43%, a sektori koje ne obuhvaća ETS za 30%. Dalje, po pitanju ETS, cilj je smanjiti broj emisijskih jedinica stopom od 2.2% godišnje od 2021. godine pa nadalje, za razliku od trenutne stope smanjenja od 1.74% godišnje. Također, cilj je razviti nekoliko sustava potpore kako bi područja koja su uključena u promjene mogla lakše nadići probleme po pitanju inovacija i ulaganja u razvoj i tranziciju prema ekonomiji niske potrošnje ugljika. To podrazumijeva stvaranje inovacijskog i modernizacijskog fonda. Inovacijski fond s ciljem povećavanja postojeće potpore za razvoj i demonstraciju novih tehnologija u industriji, a modernizacijski fond pomogao bi 10 zemalja Unije slabijeg ekonomskog statusa u poboljšanju sektora za proizvodnju energije. [16]

Za predodžbu, prema podacima Europske Komisije, u razdoblju od 1. siječnja 2013. do 31. prosinca 2017. godine u opticaj je pušteno 10 597 092 329 emisijskih jedinica, dok je potražnja za istima iznosila 8 942 517 731, što u rezervu stavlja 1 654 574 598 emisijskih jedinica. [17]

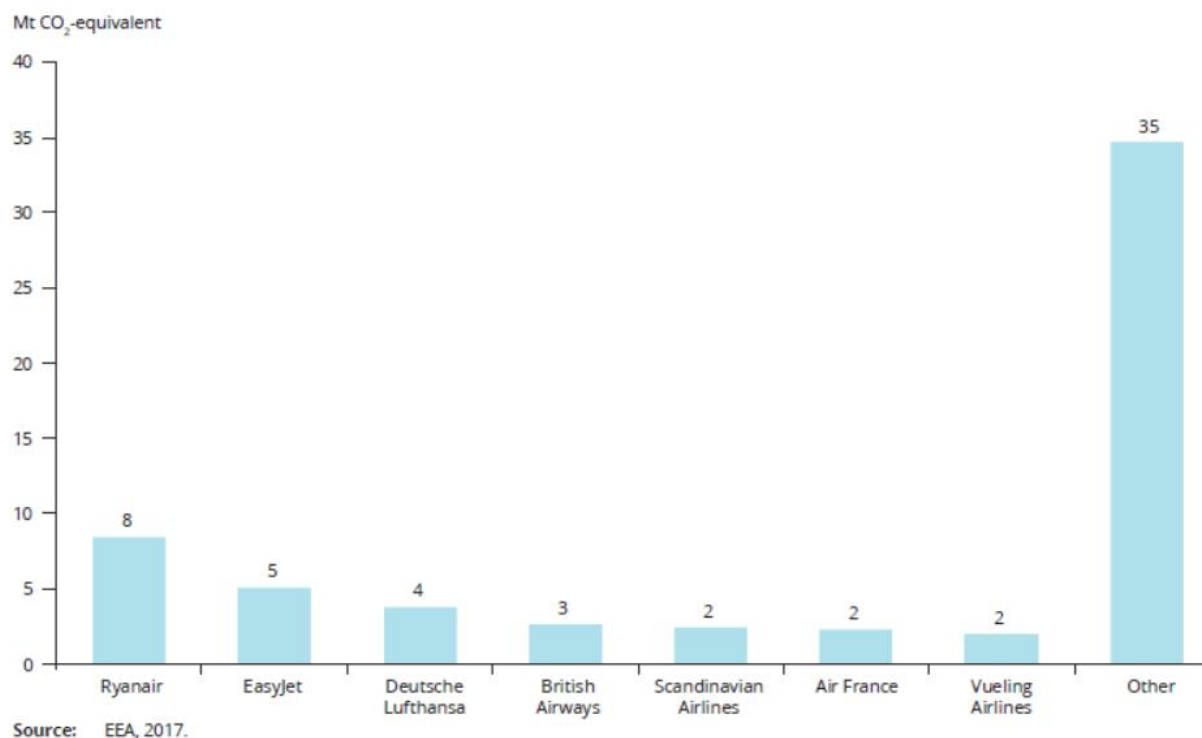
Zemlje članice, u sklopu dražbi, napravile su novčani promet od otprilike 15.8 milijardi eura u razdoblju od 2013-2016. Cijena emisijske jedinice za 2015. godinu iznosila je 7.3 eura, a za 2016. godinu 5.5 eura prema podacima EAA. Slikom 3 prikazana je usporedba cijene emisijskih jedinica za zračni i zemaljski sektor. Cijena emisijskih jedinica za zračni prijevoz prikazana je sivom bojom. Količina emisijskih jedinica koje su dodijeljene hrvatskom zračnom prijevozniku *Croatia Airlines* prve godine po uključivanju u sustav iznosile su 62 717. Iduće godine 2014. pa do 2020. iznose i iznosit će 85 828, a ulaskom u četvrtu fazu kada kreće

smanjenje na godišnjoj razini od 2.2% za 2021. godinu dobivena količina je 83 939, za 2022. iznosi 82 051, a za 2023. iznosi 80 163 emisijskih jedinica. [18]



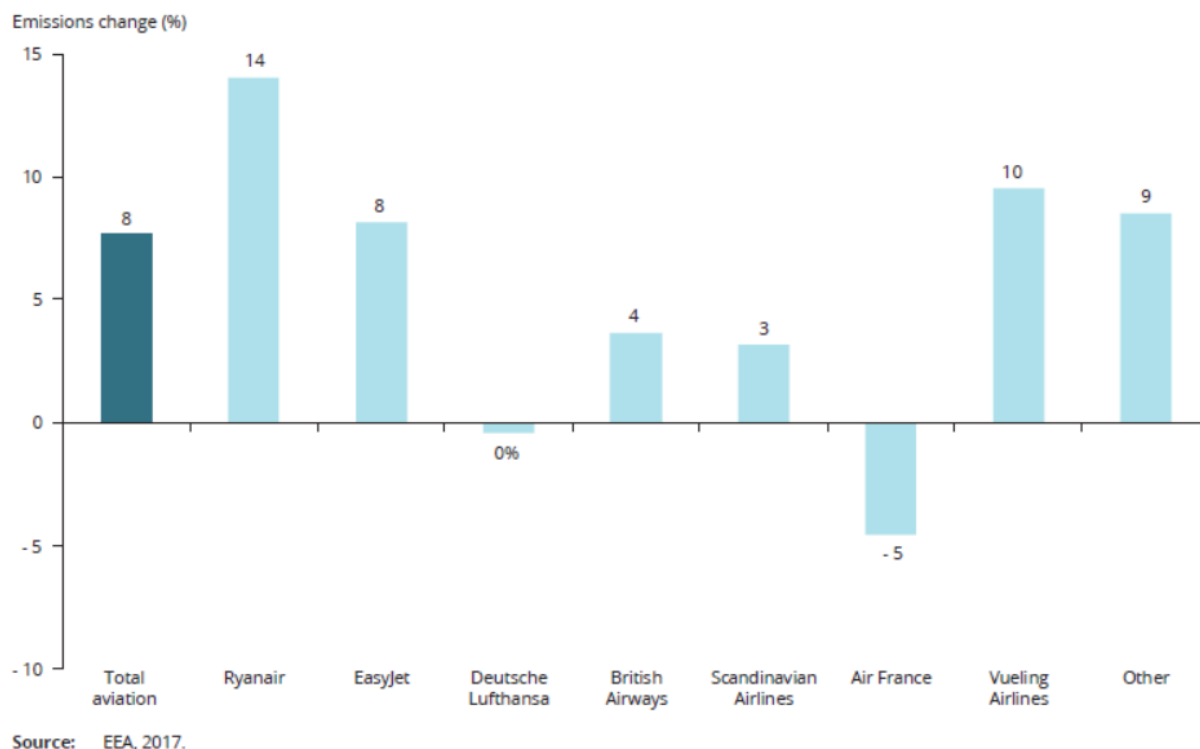
Slika 3 – Usporedba cijena emisijskih jedinica za zračni i zemaljski sektor [19]

Zračni sektor unutar EU ETS je u 2016. godini proizveo 61.4 milijuna tona CO<sub>2</sub> što je povećanje od 7.6% u odnosu na godinu prije. Najveći proizvođači tih emisija prikazani su slikom 4 i odgovorni su za 44% tih emisija. *Ryanair* sa 8.4 milijuna tona CO<sub>2</sub> i *Easyjet* sa 5.1 milijuna tona CO<sub>2</sub> su bili dva najveća proizvođača emisija CO<sub>2</sub> unutar zrakoplovnog sektora u 2016. godini. Emisije ova dva spomenuta nisko-tarifna zračna prijevoznika nastavile su rasti, 14% kod Ryanaira i 8% kod Easyjeta. [19]



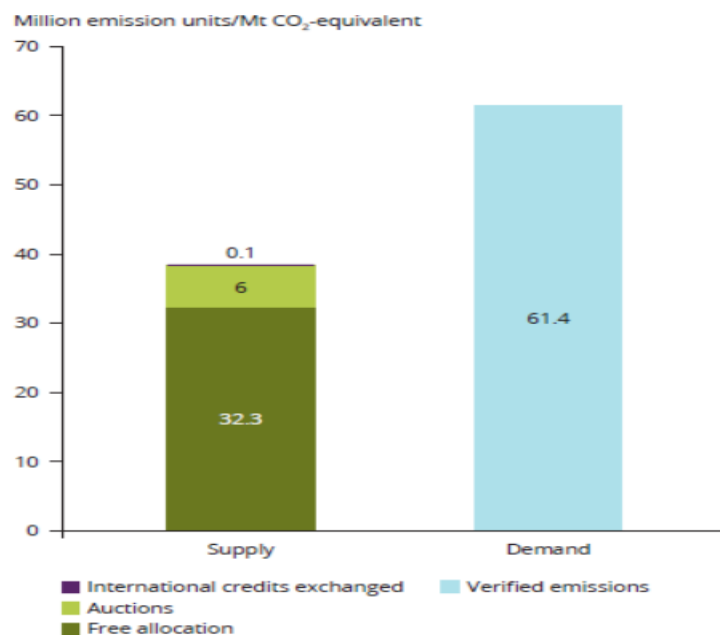
Slika 4 – Najveći potrošači goriva i emiteri u 2017. [19]

Uz njih, povećanja i smanjenja u odnosu na 2015. godinu nekih od značajnijih zračnih prijevoznika prikazana su također slikom 4. Prema podacima Ryanaira i Easyjeta iz 2017. godine, taj rast emisija povezuju s povećanjem broja putnika gdje je Ryanair zabilježio rast od 15% (117 milijuna putnika u 2017. godini), a Easyjet 6.6% (74.5 milijuna putnika). Na slici 5 vidljivo je i smanjenje od 4% kod Air Francea što pripisuju korištenju metoda učinkovitog trošenja goriva, smanjenju starosti flote, operativne napretke u smislu optimalnih ruta i ekonomično letenje.



Slika 5 – Postotak promjene količine ispuštenih emisija u odnosu na prethodnu 2016. godinu [19]

Općenito, u 2016. godini, zračnim prijevoznicima dodijeljeno je 32 milijuna emisijskih jedinica besplatno, a dodatnih 6 milijuna prodano je na dražbi. Sve zajedno iznosi 62% od ukupnih emisija za tu godinu (61.4 milijuna tona), a ostatak emisijskih jedinica kupljen je kroz tržište. Treba napomenuti da zračni prijevoznici mogu kupiti emisijskih jedinica od zemaljskih sektora i mogli ih predati i njima pravdati svoje emisije, ali ne može biti obrnuto. Ponuda i potražnja za emisijskim jedinicama u 2016. godini prikazana je slikom 6.



Slika 6 – Ponuda i potražnja emisijskih jedinica u 2016. godini [19]

Tijekom treće faze EU ETS, zračni prijevoznici koji su konstantno bili na vrhu po pitanju ispuštenih emisija su Ryanair i EasyJet, dok je *Wizz Air* imao najveće povećanje emisija u tom periodu (68%). Neki od prijevoznika kao što su British Airways bilježili su manji rast od oko 5% kroz cijeli period. Usprkos povećanom broj operacija, zračni prijevoznici kao što je *Alitalia* su uspjeli smanjiti količinu emisija. Prema podacima Europske agencije za sigurnost zračnog prometa (*eng. EASA – European Aviation Safety Agency*) iz 2016. godine, povećanje u ispuštenim emisijama u razdoblju od 2005. do 2014. godine bilo je manje u odnosu na povećanje putničkih kilometara. Tome je većinom pridonjelo uvođenje novih zrakoplova u operacije, mijenjanje nekih starijih i poboljšanja u operativnim procedurama prijevoznika. Prema istraživanjima EASA-e, buduće tehnologije i razvoj možda neće moći uravnotežiti rast prometa. Najvećih 14 emitera emisija u zračnom prijevozu prikazani su tablicom 3. [19]

Tablica 3 – Količina ispuštenih emisija CO<sub>2</sub> za navedene zračne prijevoznike u razdoblju 2012-2016

	Verified emissions (Mt CO <sub>2</sub> -equivalent)				
	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Total Aviation</b>	<b>84.0</b>	<b>53.5</b>	<b>54.8</b>	<b>57.1</b>	<b>61.4</b>
Ryanair	7.5	6.6	6.6	7.4	8.4
EasyJet	4.6	4.3	4.4	4.7	5.1
Deutsche Lufthansa	4.9	4.4	4.0	3.8	3.8
British Airways	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7
Scandinavian Airlines	3.6	2.3	2.4	2.4	2.4
Air France	3.8	2.6	2.4	2.4	2.3
Vueling Airlines	1.3	1.3	1.6	1.8	2.0
Wizz Air	1.1	1.1	1.3	1.5	1.8
Air Berlin	2.5	1.8	1.9	1.7	1.7
Koninklijke Luchtvaart Maatschappij N.V.	1.9	1.5	1.6	1.6	1.6
Alitalia Società Aerea Italiana S.p.A.	1.9	1.7	1.6	1.5	1.5
Norwegian Air Shuttle ASA	1.7	1.8	2.1	2.0	1.4
Germanwings GmbH	0.7	0.8	1.2	1.4	1.2
Transportes Aéreos Portugueses, S.A.	1.3	1.1	1.1	1.2	1.1

**Note:** For the period 2013 to 2016, only flights within the European Economic Area are covered under the EU ETS. Flights between the continental European Economic Area and its outermost regions are also exempt, e.g. flights between mainland Europe and the Canary Islands.

**Source:** EEA, 2017.

## 4.2 Protokol iz Kyota

Protokol iz Kyota je međunarodni dogovor povezan s UNFCCC (*eng. United Nations Framework Convention on Climate Change*) koji obvezuje njegove potpisnice postavljajući pred njih međunarodne ciljeve smanjenja emisija. Prepoznato je da su uglavnom razvijenije zemlje odgovorne za trenutne visoke razine stakleničkih plinova usred više od 150 godina industrijske aktivnosti. Stoga, Protokol stavlja veći teret na razvijenije zemlje pod principom sličnih, ali izmijenjenih odgovornosti. Protokol iz Kyota prihvaćen je 11. prosinca 1997. u Japanskom gradu Kyotu, a stupio je na snagu 16. veljače 2005. godine. Europsko Vijeće, u ime Europske zajednice, odobrilo je protokol iz Kyota uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime i zajedničkim ispunjavanju obveza koje iz njega proizlaze 25. travnja 2002., odlukom 2002/358/EZ. Prvi obvezujući period započeo je 2008. i završio 2012. godine. Većina zemalja s visokim udjelom emisija nisu dijelom Protokola pa su zemlje potpisnice činile oko 18% svjetskih emisija. U prvom periodu, zemlje koje su sudjelovale, obvezale su se smanjiti njihove emisije za prosječno 5% ispod razina iz 1990. godine. Protokol je dopustio državama



da zajedničkim snagama zadovolje navedeno smanjenje emisija, a smanjenje emisija za 8% Europske Unije razloženo je na ograničenja svake od država, ovisno o mogućnostima i ekonomskom stanju. [20]

Europska Unija sa zemljama članicama zadovoljila je obveze emisije stakleničkih plinova postavljene Protokolom u prvom obvezujućem periodu. Kao zadnji dan za postizanje cilja prvog perioda bio je 18. studeni 2015. godine. Za kompletan prvi period od 2008. do 2012. godine, izuzevši Cipar i Maltu koji nisu imali postavljene ciljeve, ukupne emisije CO<sub>2</sub> za prostor EU iznosile su 23.5 gigatona. To je jednako smanjenju od otprilike 19% u odnosu na baznu godinu. Sve zemlje obvezale su se na smanjenje od 8%, osim Mađarske i Poljske koje su se obvezale na 6%, te Hrvatske s 5%. Odlukom Komisije od 8. studenoga 2013., 2006/944/EZ uvrštena je razina emisija dodijeljenih Republici Hrvatskoj na temelju Protokola iz Kyota, a iznosila je 148 778 503 tone. [21]

U prosincu 2012. godine u Dohi, prihvaćena je dopuna Protokolu iz Kyota koja je sadržavala nove obveze zemalja potpisnica s novim obvezama o smanjenju emisija za drugo obvezujuće razdoblje od 1. siječnja 2013. do 31. prosinca 2020. godine. Također, predstavljena je prerađena lista stakleničkih plinova koje zemlje moraju pratiti i izvijestiti, što time čini 7 plinova. Tijekom drugog obvezujućeg razdoblja, zemlje potpisnice obvezale su se smanjiti emisije stakleničkih plinova za najmanje 18% u odnosu na razine iz 1990. godine. Treba napomenuti da dopuna iz Dohe još uvijek nije prihvaćena. Da bi se to dogodilo, treba je prihvatiti 144 potpisnica, a trenutno stanje od 3. svibnja 2018. godine je 112.

Drugo obvezujuće razdoblje povezuje završetak prvog obvezujućeg razdoblja Protokola iz Kyota i početak novog globalnog sporazuma u 2020, Pariškog sporazuma. U tom razdoblju, Europska Unija, neke od drugih Europskih zemalja i Australija su se složili i pristali na daljnje smanjenje emisija. Zemlje EU i Island prihvatile su cilj od zajedničkog smanjenja od 20% u odnosu na 1990. godinu i na dobrom su putu prema ostvarenju cilja. EU je odgovorna za kontrolu emisija u sektorima koji su pokriveni ETS-om, a svaka zemlja posebno je zadužena za emisije na državnoj razini za sektore koji nisu obuhvaćeni ETS-om. [22]

Paket mjera za 2020. godinu na temu klime i energije predstavlja set zakona koji bi trebali osigurati da EU zadovolji ciljeve predstavljene do kraja 2020. godine. Paket se sastoji od 3 bitne mjere:

- Smanjiti emisije stakleničkih plinova za 20% u odnosu na razine iz 1990. g.

- 20% energije unutar EU trebalo bi biti korišteno iz obnovljivih izvora
- 20% povećanje energetske učinkovitosti

Ti se ciljevi provode kroz ETS čiji je cilj do 2020. g. smanjenje emisija, u sektorima koji su pokriveni, za 21% ili više u odnosu na razine iz 2005. godine. Kao što je i prije spomenuto, ETS pokriva oko 45% emisija stakleničkih plinova unutar EU. Ostalih 55% pokriveno je regulacijama na državnim razinama gdje se pokrivaju sektori koji nisu uključeni u ETS kao što su domaćinstvo, agrikultura, upravljanje otpadom, transport (ne uključuje zračni sektor)... Ciljevi su različiti za razvijenije i bogatije zemlje od kojih se traži smanjenje od 20%, dok se siromašnijim zemljama dopušta rast od najviše 20% (iako se od njih očekuje da pokušaju ograničiti emisije). Napredak prati Europska Komisija svake godine u sklopu obaveznih izvješća zemalja o ispuštenoj količini plinova. [23]

Prema podacima Europske Komisije, unutar EU emisije su smanjene za 23% između 1990. i 2016. godine, dok je ekonomija porasla za 53% unutar istog razdoblja. EU emisije smanjile su se za 0.7% u 2016. dok je BDP porastao za 1.9%.

### 4.3 Pariški sporazum iz 2015. godine

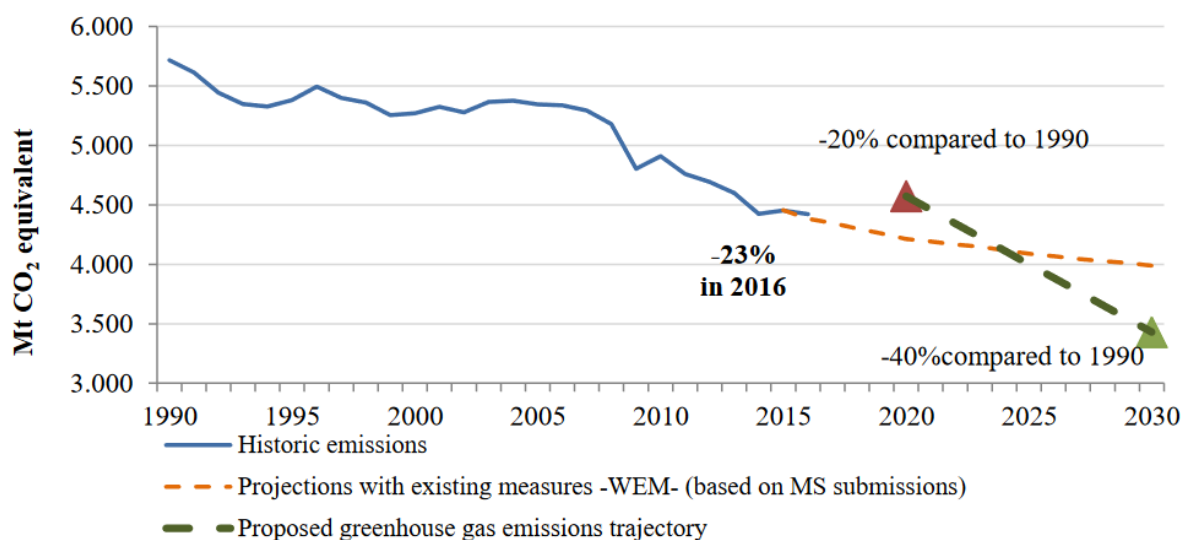
Zasjedanje 21. Konferencije stranaka Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) započelo je u Parizu 30. listopada 2015., a završilo 12. prosinca 2015. godine. Na Konferenciji je sudjelovalo 195 država, a kao rezultat Konferencije nastao je Pariški sporazum o klimatskim promjenama. Sporazum je stupio na snagu 4. studenoga 2016. godine nakon što ga je 5. listopada ratificirala Europska Unija.

Dugoročni cilj sporazuma je držati povećanje srednje temperature na globalnoj razini znatno ispod 2°C iznad pred-industrijskih razina. U sklopu toga, povećanje temperature želi se ograničiti na 1.5°C budući da bi to znatno smanjilo rizike i utjecaje klimatskih promjena. Također, želi se postići vrhunac u količini ispuštenih emisija i zaustaviti njihov rast što je prije moguće, uzevši u obzir da bi to moglo trajati duže za zemlje u razvoju, koristiti nove tehnologije i znanost kako bi se postiglo što brže smanjenje emisija. Prije i tijekom konferencije zemlje su predstavile svoje nacionalne planove za smanjenje emisija koji još uvijek nisu dovoljni da bi se globalno zatopljenje zadržalo ispod 2°C, ali sporazumom se nastoji približiti tom cilju. Vlade država pristale su sastajati se svakih 5 godina kako bi utvrdili strože ciljeve, izvještavati se

međusobno i izvještavati javnost o uspješnosti i izvršavanju ciljeva, te pratiti napredak prema dugoročnom cilju smanjenja.

Na Konferenciji je dogovorena strategija za poboljšanje učinkovitosti društva prema utjecajima nastalim klimatskim promjenama, kao i neprekidna i bolja međunarodna pomoć zemljama u razvoju pri izvršavanju stavkama sporazuma. „EU će povećati svoj doprinos međunarodnom financiranju borbe protiv klimatskih promjena u skladu sa zadanim ciljem od 100 milijardi američkih dolara godišnje utvrđenim za industrijalizirane zemlje do 2020. i kasnije, do 2025. Stranke Okvirne konvencije UN-a o promjeni klime utvrdit će novi kolektivni cilj prije 2025. Ukupni doprinosi EU-a i njegovih država članica u 2015. iznosili su 17.6 milijardi eura, što je znatno povećanje u odnosu na 2014, a ukupni doprinosi u 2016 iznosili su 20.2 milijarde eura. Doprinosi su uspješno usmjereni na inicijative za ublažavanje klimatskih promjena i prilagodbu tim promjenama u zemljama u razvoju. Taj doprinos smatra se važnim korakom prema provedbi Pariškog sporazuma.“ [24]

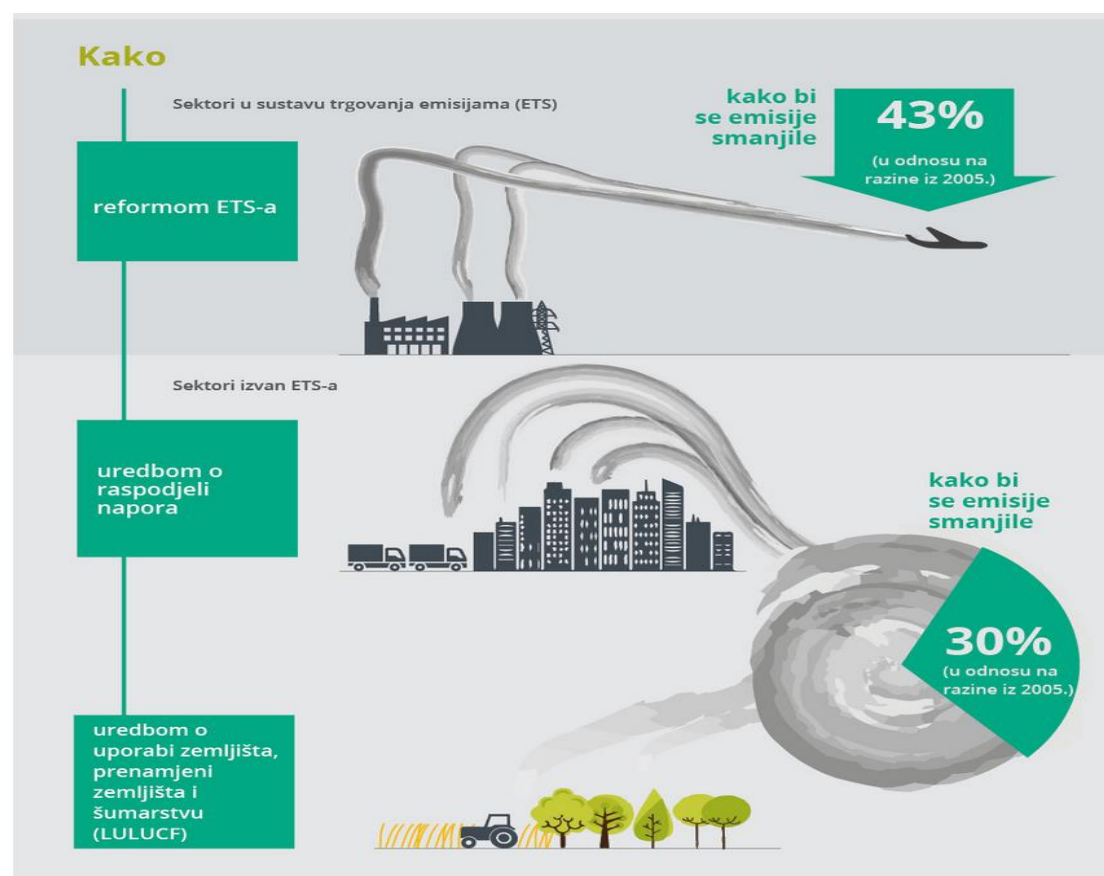
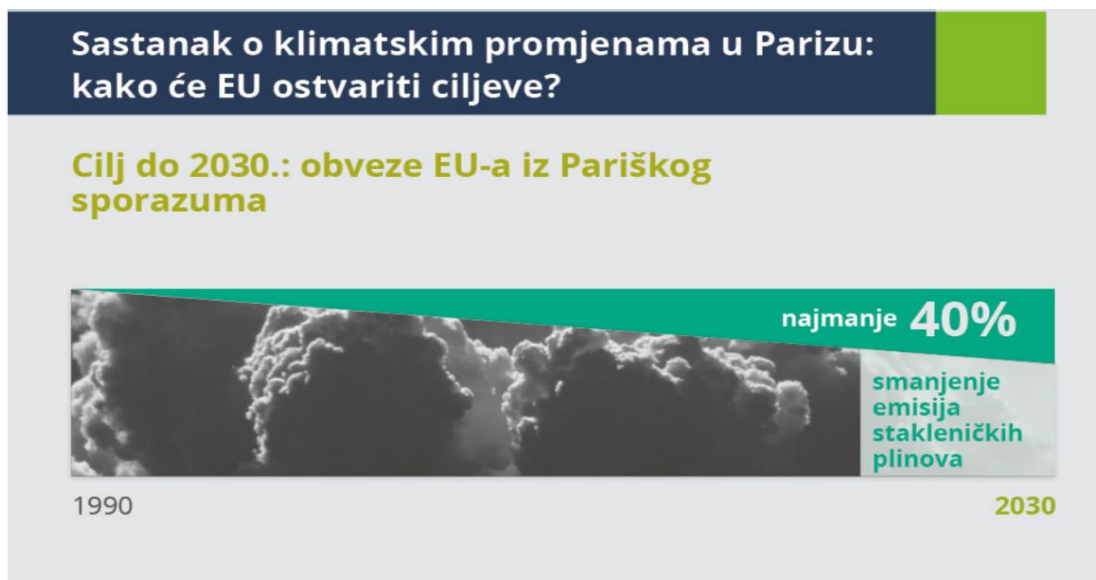
Trenutni napredak prema smanjenju emisija i ispunjavanju ciljeva između 2020. i 2030. godine za Europu prikazan je slikom 7.



Slika 7 – Napredak prema ispunjavanju Europskih ciljeva za razdoblje 2020-2030 (ukupni broj emisija stakleničkih plinova u EU) [24]

Slikovito, način na koji EU namjerava ispuniti ciljeve postavljene Pariškim sporazumom za sektore koji su u sustavu trgovanja emisijama i za sektore izvan prikazane su

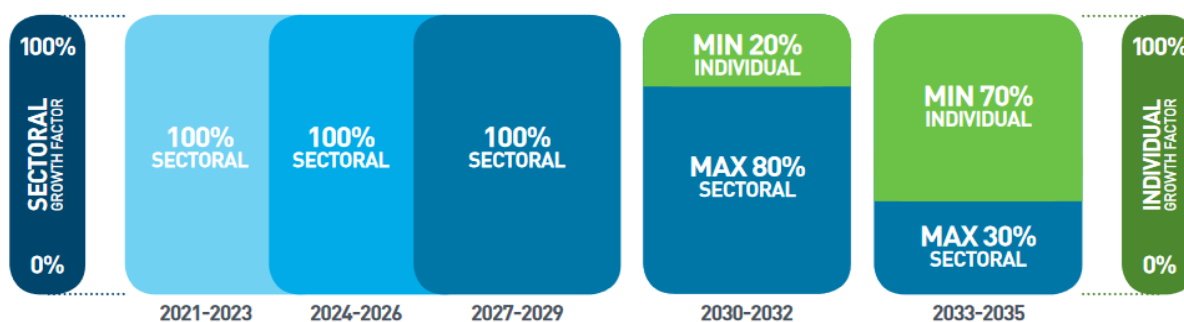
slikom 8. Sektori koji se nalaze u sustavu trgovanja emisijama podložni su reformi ETS-a, koja je spomenuta ranije u radu kao faza 4. Sektori izvan sustava trgovanja emisijama namjeravaju do 2030. godine smanjiti emisije za 30% u odnosu na razinu 2005. godine kroz Uredbu o raspodjeli napora i Uredbom o uporabi zemljišta, prenamjeni zemljišta i šumarstvu (*eng. LULUCF – Land Use, Land-Use Change and Forestry*). [25]



Slika 8 – Plan EU o postizanju ciljeva do 2030 iz Pariškog sporazuma [25]

#### 4.4 ICAO CORSIA (eng. Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)

CORSIA je međunarodni pristup smanjenju emisija unutar zrakoplovne industrije razvijen od strane Međunarodne organizacije za civilno zrakoplovstvo (eng. ICAO – International Civil Aviation Organization). CORSIA se odnosi na emisije nastale međunarodnim zračnim prometom, a sastoji se od tri razdoblja s početkom 2021. godine. Sudjelovanje u razdobljima do 2026. je dobrovoljno. S početkom prvog mjeseca 2018. godine, više od 70 zemalja koje predstavljaju više od 85% međunarodnih zrakoplovnih aktivnosti su se prijavile za dobrovoljno sudjelovanje. Zemlje poput Indije i Rusije za koje se smatra velikim emiterima se još nisu pridružile. Pilot razdoblje traje od 2021. do 2023., prvo razdoblje od 2024. do 2026., a drugo razdoblje od 2027. do 2035. U drugom razdoblju, sve zemlje s udjelom u aktivnostima međunarodnog zračnog prometa u 2018. godini većim od 0.5% ili čiji kumulativni udio dostigne 90% ukupnih aktivnosti su uključene. Manje razvijene zemlje i manji otoci su izuzeti osim ukoliko sami dobrovoljno ne odluče sudjelovati. Neutraliziranje ugljika znači smanjenje emisija ugljikovog dioksida ili drugih stakleničkih plinova kako bi se nadomjestile emisije nastale negdje drugdje. Računa se množenjem godišnjih emisija zračnog prijevoznika i faktora povećanja kojeg izdaje ICAO. Faktor povećanja mijenja se svake godine uzevši u obzir rast emisija unutar zračnog sektora i individualnih emisija prijevoznika. To je postotak povećanja količine emisija u odnosu na granicu danu za iduću godinu, a raspodjela je prikazana slikom 9. Nedavno, 28. lipnja 2018. godine ICAO je usvojio CORSIA standarde i preporučene prakse (eng. *CORSIA Standards and Recommended Practices – SARPs*) kao novi Svezak, Svezak 4 Dodatka 16 Čikaške Konvencije. Sustav praćenja, izvještavanja i potvrđivanja (eng. *MRV – Monitor, Report, Verify*) trebao bi biti usvojen od strane zemalja članica počevši od 1. siječnja 2019. godine. [26]

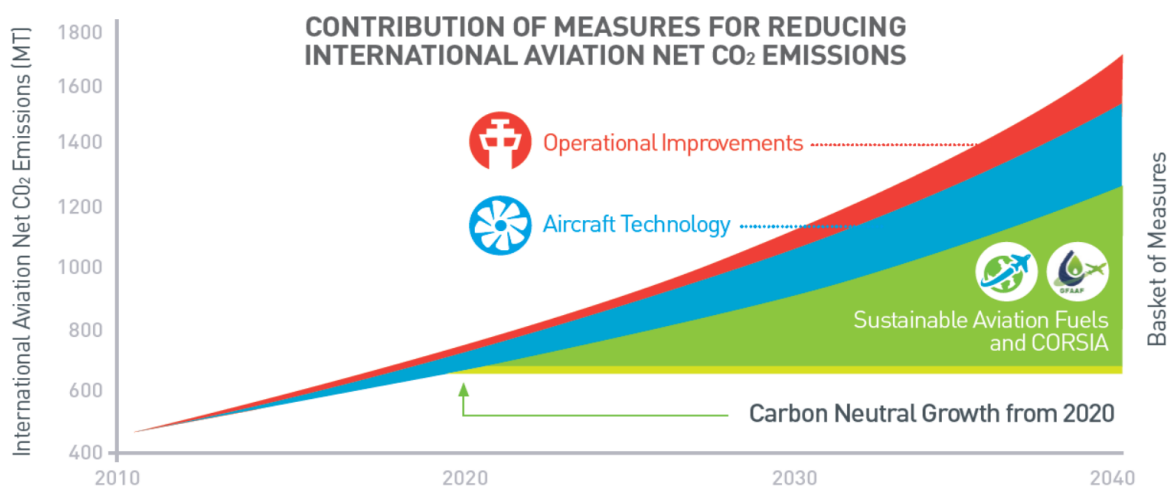


Slika 9 – Osobni i sektorski faktor [26]

Nakon izračunavanja količine koju je potrebno nadomjestiti i koja će biti dodijeljena određenom zračnom prijevozniku:

- Prijevoznik izvještava o korištenju održivih zrakoplovnih goriva (biogoriva) za određeno razdoblje
- Država oduzima određenu količinu emisija zbog upotrebe održivih goriva i obavještava zračnog prijevoznika o konačnoj količini koju treba nadomjestiti u razdoblju od 3 godine
- Prijevoznik kupuje i otkazuje određenu količinu jedinica emisija jednaku onoj proračunatoj za nadomjestak u tom razdoblju
- Prijevoznik državi prijavljuje količinu otkazanih jedinica u obliku izvješća, država provjerava to izvješće i informacije šalje u ICAO

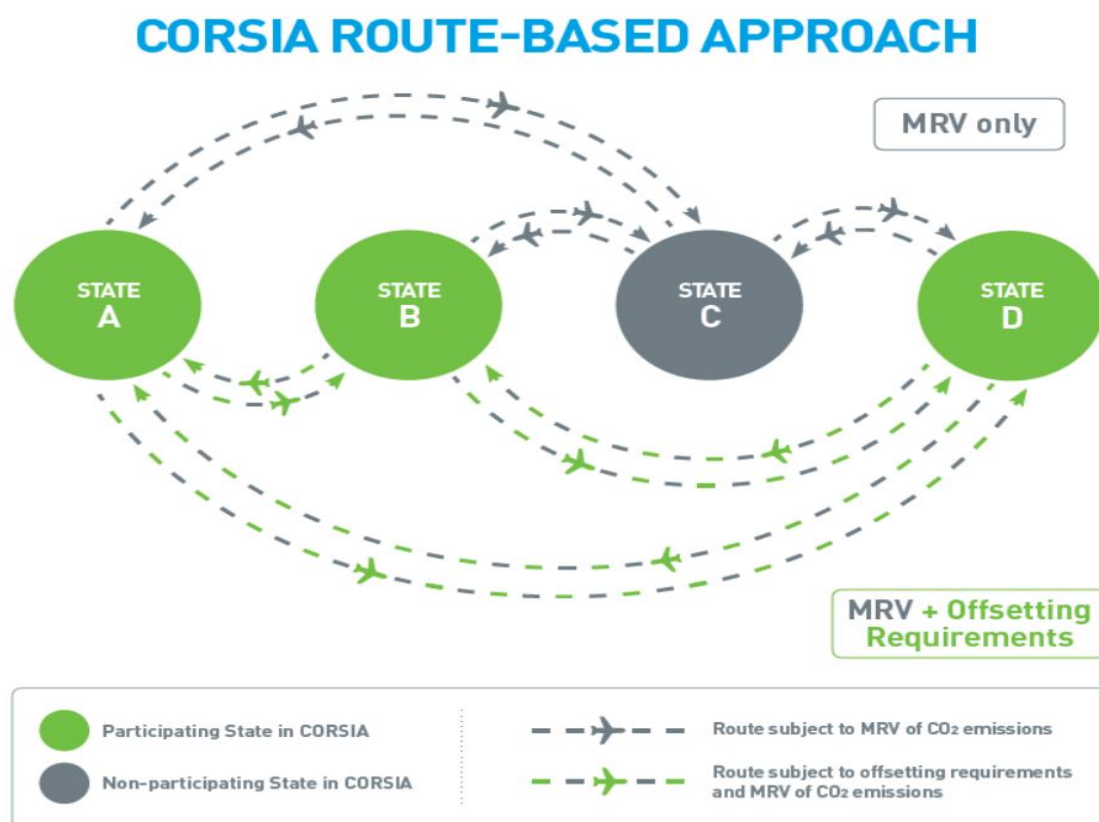
Kao dva glavna cilja ICAO navodi prestanak rasta emisija CO<sub>2</sub> u zračnom sektoru od 2020. godine i učinkovitije trošenje goriva od 2% godišnje do 2050., što nastoje postići poboljšanjima u operativnom sektoru, boljom tehnologijom i novijim zrakoplovima, upotrebom biogoriva i CORSIA-om. Ideja je prikazana slikom 10. [26]



Slika 10 – Postizanje granice neutralog rasta ugljika pomoću operativnih unaprijedenja, tehnologije zrakoplova i održivim gorivima i CORSIA-om [26]

Sve zemlje članice ICAO-a sa zračnim prijevoznicima koji sudjeluju u međunarodnom zračnom prometu obavezne su pratiti, izvijestiti i potvrditi (*eng. MRV – Monitor, Report, Verify*) emisije CO<sub>2</sub> tih letova za svaku godinu, počevši od 2019. godine, neovisno o sudjelovanju u CORSIA projektu.

Zračni prijevoznik dužan je pratiti i spremati informacije o iskorištenom gorivu na međunarodnim letovima u skladu s dopuštenim metodama odobrenim od strane države kojoj pripada i tu istu metodu treba koristiti za cijelo trogodišnje razdoblje usklađenosti. Jedna od metoda dopuštenih za korištenje je i alat ICAO-a „*ICAO CORSIA CO<sub>2</sub> Estimation and Reporting Tool – CERT*“ dostupan na internet stranicama ICAO CORSIA. Slika 11 prikazuje koji letovi i na koji način sudjeluju u sustavu CORSIA. Letovi koji polijeću iz zemlje koje sudjeluju (označeni zelenom bojom) i koji slijeću u zemlje unutar CORSIA bit će podložne MRV isto kao i zahtjevima o nadomještanju emisija (*eng. offsetting requirements*), dok će letovi koji polijeću iz zemlje CORSIA i slijeću u zemlju koja ne sudjeluje u CORSIA projektu (označene sivom bojom) i obrnuto biti podložni samo MRV za emisije ugljikovog dioksida. [26]





## 5 METODE UČINKOVITOG TROŠENJA GORIVA (ENG. FE – FUEL EFFICIENCY)

Metode učinkovitog trošenja goriva podrazumijevaju mjere koje su pokrenute u svrhu smanjenja potrošnje goriva, a samim time i količine ispuštenih emisija. Općenito, izgaranjem jedne litre zrakoplovnog goriva nastaje 3.15 tona emisija CO<sub>2</sub>. Zračnim prijevoznicima u interesu je smanjiti potrošnju goriva i smanjiti potrebu za gorivom kakvo se poznaje, općenito kako bi smanjili utjecaj na okoliš, povećali kvalitetu života i izbjegli plaćanje kazni uzrokovanih prekomjernim ispuštanjem emisija i smanjili potrebu za kupnjom emisijskih jedinica unutar sustava trgovanja emisijama.

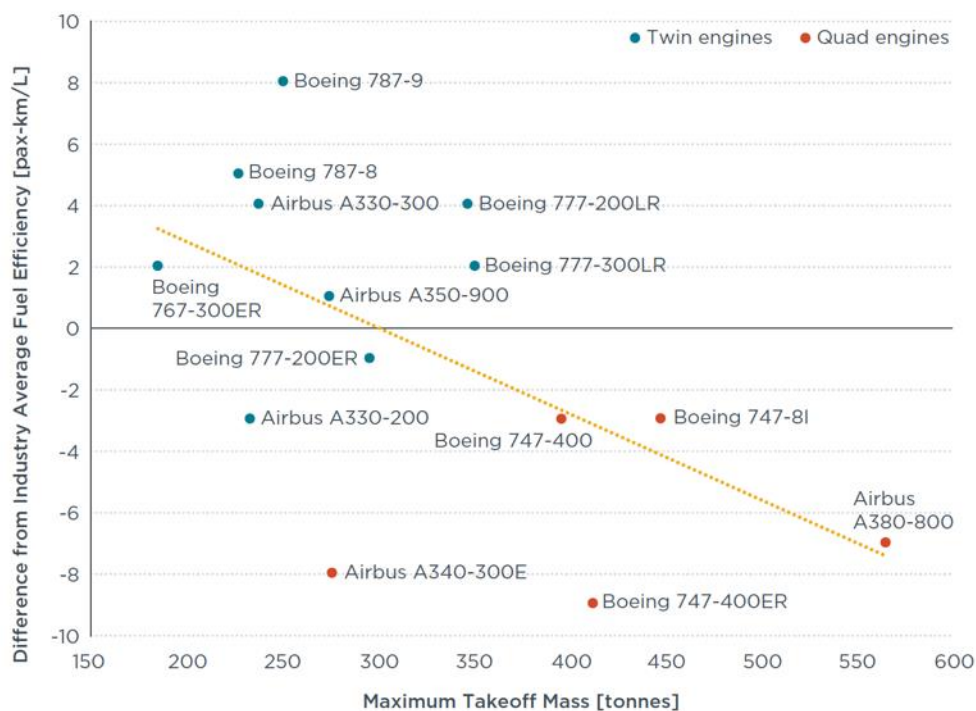
Istraživanje provedeno od strane UN-a krajem 2017. godine potvrdilo je loš scenarij po pitanju smanjenja emisija CO<sub>2</sub>. [51] Dobici ostvareni metodama učinkovitog trošenja goriva i modernizacija flote nisu uspjeli nadomjestiti emisije nastale kao rezultat velikog povećanja zračnog, putničkog prometa. Dobiveni su rezultati temeljeni na učinkovitosti 200 najvećih svjetskih zračnih prijevoznika koji su odgovorni za 92% svjetskog zračnog prometa. Njemačka organizacija „*Atmosfair*“ tvrdi kako su tokom 2017. godine emisije CO<sub>2</sub> porasle za 4%, dok su se kilometri leta povećali za 7%. Kažu kako se modernizacija zračnih prijevoznika odvija vrlo sporo i da se samo 1% zrakoplova u cijelom svijetu smatra kao visoko učinkovitim. Međunarodno vijeće za čist prijevoz (eng. *ICCT – International Council on Clean Transportation*) pronašlo je kako je skokovit porast prometa doveo do povećane količine iskorištenog goriva, ali također i donio ekonomske dobitke Američkim zračnim prijevoznicima između 2014. i 2016. godine. Atmosfair kaže kako čak i najučinkovitije flote zračnih prijevoznika ispuštaju u prosjeku 20% više CO<sub>2</sub> u odnosu na najučinkovitije zrakoplove u operacijama s punim kapacitetom, Airbus A350-900 i Boeing 787-900. Flota sa srednjom razinom učinkovitosti ispušta oko dvostruko više emisija u odnosu na te zrakoplove. Atmosfair je izradio „Atmosfair Index Prijevoznika“ (eng. *Atmosfair Airline Index*) koji se zasniva na emisijama CO<sub>2</sub> po putničkom kilometru na svim rutama, a izračunat uzevši u obzir tip zrakoplova, vrstu motora, korištenje zakrivljenih vrhova krila, kapacitet sjedala i tereta, kao i popunjenost zrakoplova. Prema tome, najbolje rangirani zračni prijevoznici su oni sa najmodernijom flotom, velikim brojem sjedala i dobrom popunjenošću kabine. Razlike između prijevoznika na istim rutama i prema putničkim kilometrima može znatno varirati, s razlikom od čak duple potrošnje po putničkom kilometru. Kao najučinkovitijeg zračnog prijevoznika



Atmosfair navodi Britanskog prijevoznika *TUI Airways* (bivši prijevoznik *Thomson Airways*). Prema njihovim izračunima, postigli su 80% trenutnog tehnički dostupnog optimuma. [27]

Procjenjuje se da bi potreba za gorivom u zračnom prijevozu mogla porasti između 1.9% i 2.6% svake godine do 2025. Takav predviđeni porast bez intervencija u zrakoplovnoj industriji doveo bi do toga da bi udio emisija tog sektora mogao iznositi 22% do 2050. godine, umjesto trenutnih 2%. Dok bi idealno rješenje za smanjenje emisija bilo smanjenje rasta prometa, to nije moguće. Stoga, proizvođači zrakoplova i zračni prijevoznici ulažu povećane napore u smanjenje emisija smanjenom potrošnjom goriva. Neki od glavnih žarišta su trenutno nove tehnologije, dizajn i materijali zrakoplova koji bi mogli povećati učinkovitost trošenja goriva do prihvatljivih i održivih razina. Najveće uštede mogle bi se postići korištenjem drugačije vrste goriva, novijim i efikasnijim motorima, boljom aerodinamikom i korištenjem lakših i izdržljivijih materijala. [28]

Istraživanje u 2016. i 2017. godini provedeno od ICCT (*eng. The International Council On Clean Transportation*) obavljeno na prekontinentalnim letovima, prvenstveno između Amerike, istočne Azije i Oceanije, pokazalo je da zračni prijevoznici koji prvenstveno koriste četveromotorne zrakoplove kao što su Boeing 747 i Airbus A380 imaju najmanju učinkovitost potrošnje goriva. To su prijevoznici poput *Asiana*, *Korean Air* i *Quantas*. Mnogi bi pretpostavili da su veći zrakoplovi učinkovitiji zbog većeg broja putnika pa potrošnja goriva po putničkom kilometru ispada manja, ali u slučaju letova preko Pacifika, ispostavilo se drugačije. Prijevoznici koji koriste velike avione izgaraju više goriva i ispuštaju više emisija nego drugi. Dva su glavna razloga toga po pitanju prekontinentalnih letova. Prvi razlog leži u samoj izradi aviona s četiri motora koji su manje učinkoviti po pitanju goriva zbog nerazdvojnih čimbenika kao što su veća masa krila (potrebna veća količina goriva i veći spremnici) i manji promjer ventilatora motora. Drugi čimbenik je način na koji su avioni s četiri motora letjeli sa relativno manjim brojem putnika u odnosu na dvomotorne avione tokom 2016. godine zbog manje gustoće sjedala i popunjenosti putničke kabine. Općenito su četveromotorni avioni na tim rutama imali 24% manju učinkovitost trošenja goriva po putničkom kilometru nego dvomotorni avioni što je prikazano slikom 12. Plava boja predstavlja dvomotorne zrakoplove, a narančasta četveromotorne. Isprekidana narančasta crta prikazuje industrijski standard koliko se putničkih kilometara ostvari za određenu količinu goriva (vrijednosti iznad su bolje).

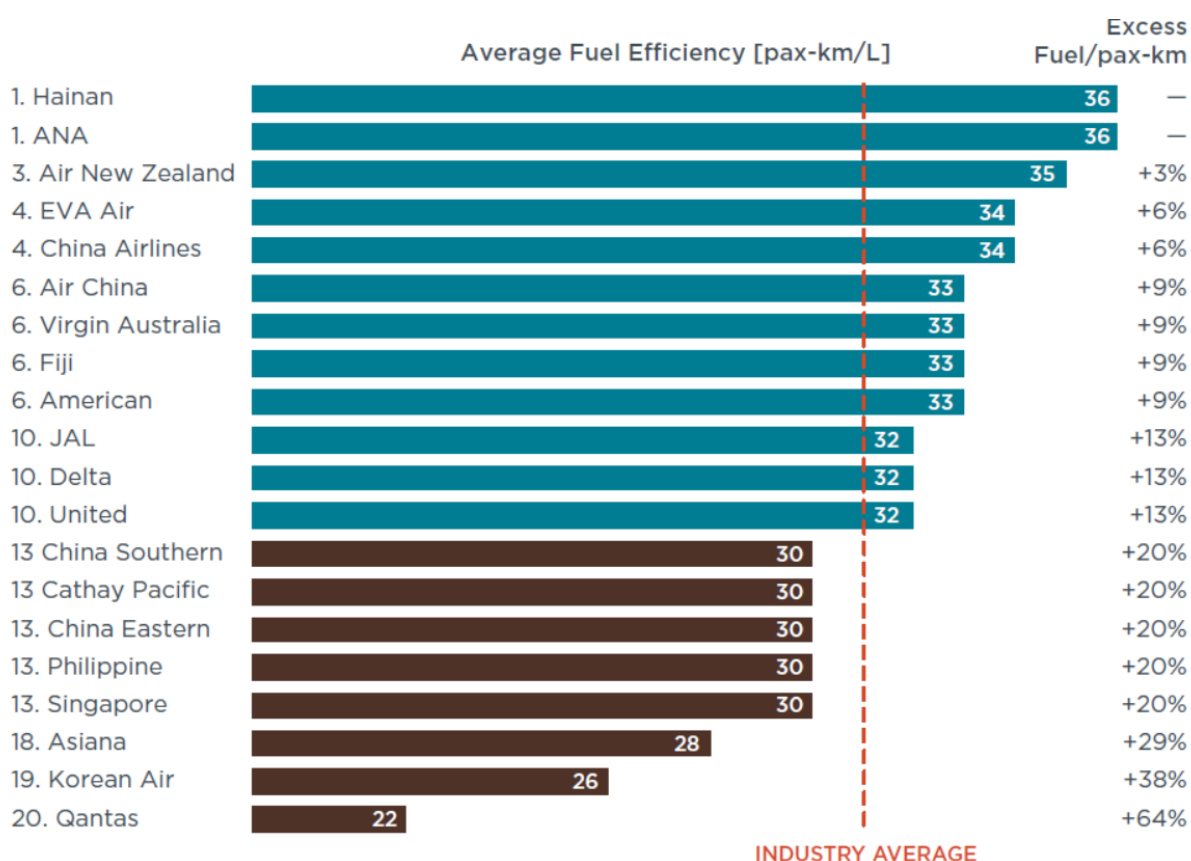


Slika 12 – Razlika navedenih učinkovitosti zrakoplova s obzirom na industrijski standard [29]

Slabiji rezultati starijih četveromotornih zrakoplova kao što su Boeing 747-400, zadnje isporučen 2005. godine i Airbusova A340 linija čija je proizvodnja prestala 2012. godine zbog snažne konkurencije Boeingova 777, mogu se pripisati starijoj tehnologiji i materijalima izrade. „Veliki zeleni div“ Airbus A380, kako su ga nazivali, ne može se opravdati time. Početno, Airbus je najavljivao kako bi A380 mogao nositi i do 853 putnika na dvije pune palube. Boeing je odgovorio svojim B787 *Dreamlinerom* koji omogućuje prijevoznicima da lete duže na sličnim rutama sa relativno malo putnika. Ispostavilo se da su napravili vrlo dobar potez. Prema podacima koji su predstavljeni, vidljivo je da A380 i nije baš bio uspješan za poslovanje i ima nepovoljan utjecaj na okoliš, što je prijevoznik i sam priznao. Njihov vrijedni kupac *Emirates* pristao je kupiti još 36 tih aviona, ali ukoliko A380 želi proći nove standarde ICAO-a po pitanju CO<sub>2</sub> morat će poboljšati učinkovitost trošenja goriva. Airbus je na to odgovorio novim konceptom koji bi trebao biti predstavljen tek poslije 2022. godine. Kako je istražio ICCT, na rutama preko Pacifika, A380 prevozio je obično oko 350 putnika, a za usporedbu Boeing 787-900 oko 200 putnika usprkos 2.5 puta manjem prostoru kabine i ograničenoj količini tereta. B787-900 tako je najučinkovitiji avion prema ovom istraživanju, sa 39 putničkih kilometara po litri goriva, 60% bolje nego A380. Iz tog razloga zračni prijevoznici više ne kupuju velike zrakoplove tipa B747 i A380. Prije su oni bili prijeko potrebni za operacije na velikim

udaljenostima, prekooceanskim letovima budući da dvomotorni zrakoplovi sa produženim doletom (eng. *ETOPs – Extended Range Operation with Two-Engine Airplanes*) nisu bili dovoljni. U današnje vrijeme širokotrupni dvomotorni zrakoplovi pružaju oboje, velik dolet kao i dovoljnu zapremninu za prijevoz putnika i robe. Stoga, ne čudi da se prijevoznici rješavaju neučinkovitih zrakoplova i prelaze na ova rješenja, najčešće B787 i A350. [29] Primjerice, Američki prijevoznik *Delta Airlines* zamijenio je svoje B747 novim A350, kapacitetom od 306 sjedala i namjeravaju povećati njihov broj na 15 do 2019. godine. [31]

Slika 13 prikazuje dobivene rezultate ICCT-a o učinkovitosti 20 zračnih prijevoznika na prekopacifičkim putničkim rutama za 2016. godinu.



Slika 13 – Učinkovitost 20 zračnih prijevoznika na prekopacifičkim rutama za 2016. godnu [30]

Vidljivo je da su prijevoznici *Hainan* i *All Nippon (ANA)* na prvom mjestu sa potrošenom 1 litrom goriva po 36 prijeđenih kilometara za jednog putnika (*Fuel/pax-km*) što je 5 litara iznad prosjeka zračnog sektora koji iznosi 31 pax km/L. Razlog zašto je *Hainan Airlines* zauzeo prvo mjesto je prvenstveno zbog korištenja novih i učinkovitih zrakoplova na tim rutama. Boeing 787 Dreamlinerom letjeli su više od 80% od 3200 prekopacifičkih letova, a

A330 ostalo. Svakako, i kod njih postoji mjesta za napredak u pogledu povećanja faktora popunjenosti kabine ili nosivosti tereta koji se oboje trenutno nalaze oko prosjeka ukupnog sektora. *All Nippon Airways* je najveći Japanski zračni prijevoznik. Na svojim rutama su prvenstveno letjeli Boeing 777-300ER, B787-8 i B787-9, vrlo učinkovitim avionima. ANA ima jedan od najvećih odnosa između prevezenog tereta i plaćenog tereta koji iznosi 48% za razliku od prosjeka industrije koji iznosi 25%. Također imaju i jedan od najslabijih putničkih faktora popunjenosti kabine. Sa 76% ispod su industrijskog prosjeka od 82%. ANA svoju učinkovitost može povećati boljim faktorom popunjenosti kabine, ali to će doseći svoj vrhunac jednom kada dosegne najveću raspoloživu masu prijevoza plaćenog tereta. Za razliku od njih, prema mišljenju mnogih, jedan od najsigurnijih zračnih prijevoznika po pitanju incidenata i nesreća, *Quantas*, nalazi se na zadnjem mjestu ovog rangiranja. Razlog leži u tome što su u svojim letovima koristili dva najneučinkovitija aviona, A380 i Boeing 747-400ER. Također su imali najdužu prosječnu dužinu leta, više od 12000 kilometara, a najduža ruta bila je između Houstona i Sydneya. Uz to, imali su najmanju prosječnu popunjenost kabine od samo 74% kao i samo 12% prevezenog tereta od ukupnog plaćenog prevezenog tereta. Uvođenjem novih zrakoplova u svoju flotu na tim rutama, B787-9, predviđa se da će im se učinkovitost povećati sa 22 pax-km/L na 28 pax-km/L. Tablicom 4 prikazani su svi prijevoznici pomoću kojih je provedeno istraživanje, a tablicom 5 karakteristike aviona koje su koristili. [30]

Tablica 4 - Prijevoznici na kojima je rađeno istraživanje o učinkovitosti goriva na prekopacifičkim rutama [30]

Zračni prijevoznik	Broj letova	Prosječna dužina leta (km)	Udio raspoloživih sjedala-km	Udio raspoloživih tonskih km	Najčešće korišteni zrakoplov
Air China	5,441	10,547	5%	4%	Boeing 777-300ER
Air New Zealand	2,824	10,761	3%	3%	Boeing 777-300ER
ANA	8,300	9,726	5%	7%	Boeing 777-300ER
American	9,516	10,911	7%	8%	Boeing 787-8
Asiana	4,041	9,873	4%	2%	Boeing 777-200ER
Cathay Pacific	8,404	12,265	8%	8%	Boeing 777-300ER
China Airlines	2,596	11,193	3%	3%	Boeing 777-300ER
China Eastern	4,325	11,038	4%	5%	Boeing 777-300ER
China Southern	2,942	12,008	3%	3%	Boeing 777-300ER
Delta	12,237	9,956	9%	9%	Boeing 777-200LR
EVA Air	6,091	11,254	6%	7%	Boeing 777-300ER
Fiji	711	8,998	< 0.5%	< 0.5%	Airbus A330-200
Hainan	3,236	10,252	2%	6%	Boeing 787-8
JAL	6,395	9,901	4%	4%	Boeing 787-8
Korean Air	8,094	10,485	8%	6%	Boeing 777-300ER
Philippine	2,338	11,699	2%	2%	Boeing 777-300ER
Qantas	3,794	12,543	5%	4%	Airbus A380-800
Singapore	2,756	10,178	2%	3%	Boeing 777-300ER
United	20,033	10,741	17%	16%	Boeing 777-200ER
Virgin Australia	1,458	11,912	2%	1%	Boeing 777-300ER
<b>Total</b>	<b>115,532</b>	<b>10,738</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	

Izvor: Airline Data Inc., 2017

Tablica 5 - Karakteristike zrakoplova koje su spomenuti prijevoznici koristili [30]

Zrakoplov	MTOM (tonnes)	Uobičajeni kapacitet sjedala	Zapremnina kargo prostora (m³)	Broj motora i najveći potisak	Dolet (km)
Boeing 767-300ER	187	261	114	2 @ 282 kN	11,070
Boeing 787-8	228	242	137	2 @ 280 kN	13,620
Airbus A330-200	242	247	132	2 @ 316 kN	13,450
Airbus A330-300	242	277	158	2 @ 316 kN	11,750
Boeing 787-9	254	290	173	2 @ 320 kN	14,140
Airbus A340-300	277	277	162	4 @ 151 kN	13,500
Airbus A350-900	280	325	162	2 @ 375 kN	15,000
Boeing 777-200ER	298	313	202	2 @ 417 kN	13,080
Boeing 777-200LR	347	317	151	2 @ 513 kN	15,840
Boeing 777-300ER	352	396	202	2 @ 513 kN	13,650
Boeing 747-400	397	416	160	4 @ 282 kN	11,250
Boeing 747-400ER	413	416	160	4 @ 282 kN	14,000
Boeing 747-8I	448	410	176	4 @ 296 kN	14,816
Airbus A380-800	575	544	184	4 @ 311 kN	15,200

MTOM = maximum takeoff mass

Izvori : Airbus, 2017; Boeing, 2006; Boeing, 2008; Boeing, 2010; Boeing, 2011; Boeing, 2017

Metodologija koja stoji iza izračuna sastoji se od mnogo varijabli uvrštenih u sustav „Piano 5“, podataka dobivenih od ICAO-a, industrije i proizvođača aviona. Korištene su tri osnovne formule. Prva važna formula korištena je za izračun prosječnog plaćenog tereta koji je prevezen koji uključuje putnike, robu i prtljagu.

$$\text{Plaćeni teret [kg]} = \text{Broj sjedala} * \text{faktor popunjenosti kabine} * 100 \text{ kg} + \text{teret}$$

Prema standardnim podacima ICAO-a, masa putnika i njegove prtljage iznosi 100 kg. U izračun je također uzeto u obzir da za isti tip aviona postoje različite konfiguracije s različitim brojem sjedala pa se po sjedalu oduzimalo ili pribrajalo 50 kg. Za izračun potrošnje goriva koristili su se parametri poput potiska motora, otpora, toka goriva, raspoloživih razina leta i brzina kretanja na tim razinama, gdje  $a$  predstavlja indeks za prosječnu učinkovitost korištenja

goriva, a indeks  $i$  jedinstveni pokazatelj prijevoznik-broj sjedala-predena udaljenost-plaćeni teret.

$$Gorivo [L]_a = \sum_i (gorivo[L]_{a,i} * broj\ polijetanja_{a,i})$$

Konačno, korištena formula za izračun učinkovitosti, broj ostvarivih kilometara jednog putnika po jednoj litri goriva glasi:

$$\frac{Putničkih\ kilometara}{L_a} = \frac{\sum_i (plaćeni\ teret [kg]_{a,i}) (udaljenost [km]_{a,i})}{(gorivo [L]_a) (\frac{100\ kg}{putnik})}$$

Ovo sve bilo je bitno spomenuti kako bi se pokazalo mjesto za napredak u smislu bolje učinkovitosti goriva. Vidljivo je da za veće vrijednosti varijabli u brojniku, više plaćenog tereta i prevezene veće udaljenosti, pod nepromijenjenom količinom goriva daje znatno više mogućih putničkih kilometara po litri goriva. Količina plaćenog tereta koji se može prevesti ovisi o najvećoj dopuštenoj težini uzlijetanja (*MTOM – Maximum Take-Off Mass*), masi praznog aviona i goriva koje se toči u njega. Primjerice, nova izvedba A330, A330neo sa MTOM jednakoj 242 tone koristi neke od kompozitnih materijala kako bi nadomjestili masu novih motora i zadržali masu praznog zrakoplova na jednakoj razini što im prema tome ne smanjuje količinu plaćenog tereta kojeg mogu prevesti. [30]

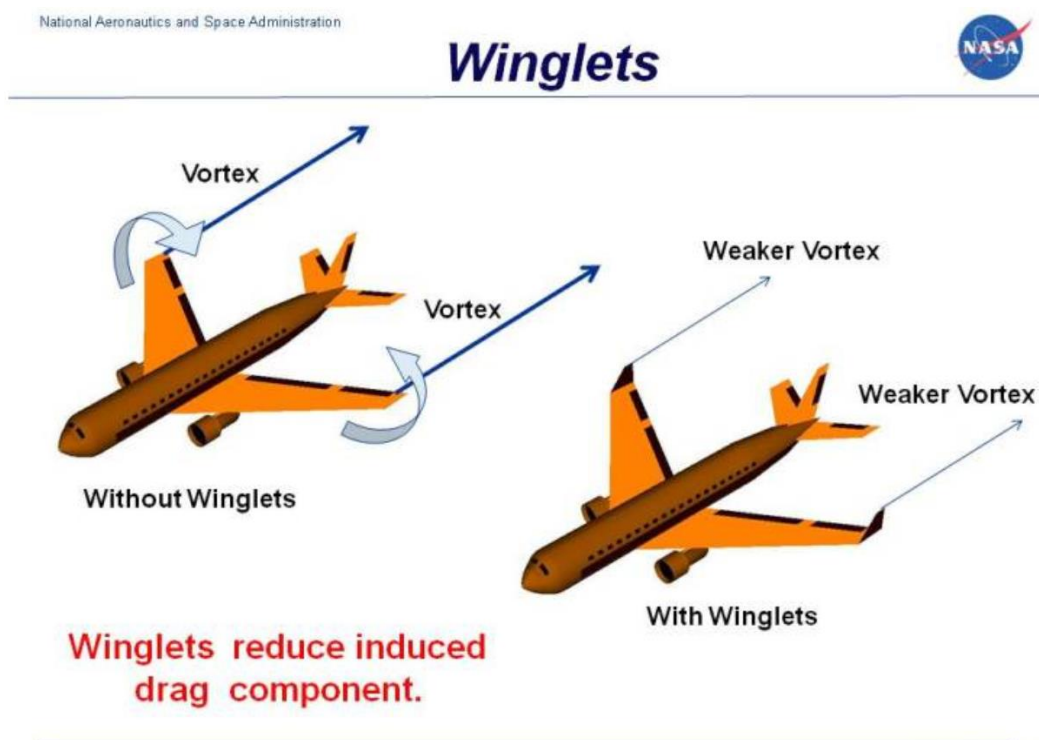
## 5.1 Korištenje zakrivljenih vrhova krila (eng. winglets)

Puno je čimbenika koji utječu na aerodinamički otpor kojeg tijelo zrakoplova stvara. Otpor ovisi o obliku, veličini i nagibu površine kao i o karakteristikama protoka zraka preko površine. Za trodimenzionalno krilo, javlja se i inducirani otpor, otpor nastao kao posljedica uzgona. Inducirani otpor ima trodimenzionalni učinak povezan s raspodjelom uzgona preko krila. Protok zraka blizu vrhova krila ima velik utjecaj na količinu nastalog induciranog otpora jer ondje nastaju vrtlozi. Aspektni odnos je omjer kvadrata raspona krila i površine krila. Inducirani otpor obrnuto je proporcionalan aspektnom odnosu krila. Duga i tanka krila imaju niski inducirani otpor. Eliptična krila u odnosu na pravokutna također imaju niži inducirani otpor. Razlika tlakova na gornjaci i donjaci krila uzrokuje prestrujavanje struje zraka na vrhovima što i uzrokuje veći inducirani otpor. To se rješava zakrivljenim vrhovima krila čija je zadaća smanjiti vrtloge na vrhovima i time protok zraka učiniti više dvodimenzionalnim,



smanjiti otpor, a povećati uzgon. Testni letovi provedeni u NASA-i otkrili su 6.5% smanjenje iskorištenog goriva uvođenjem zakrivljenih vrhova krila na avion Boeing 707. Trenutno se koriste na više od 8300 zrakoplova sa prosječnim smanjenjem od 6% količine ispuštenih emisija, dobivenih smanjenjem otpora.

Ugradnja zakrivljenih vrhova može koštati oko milijun dolara po zrakoplovu i dodati određenu masu, ali svakako investicija koja se isplaćuje sama kroz uštedu goriva već nakon otprilike 2-3 godine što su mnogi zračni prijevoznici i prepoznali. Američki United Airlines, 2014. godine, uvođenjem wingleta na svoje zrakoplove izračunao je kako štedi i do 45000 galona goriva po avionu, na cijelu flotu do 65 milijuna galona tadašnje vrijednosti 200 milijuna dolara i 645 milijuna tona CO<sub>2</sub> godišnje. Tvrtka Airbus je svoju verziju wingleta predstavila u Dubaiju 2009. godine, nazvali su ih sharklet. Prema njihovim podacima, ugradnjom koja košta 900 tisuća dolara, pridaje masu od oko 200kg, moguće je postići 150NM (nautičkih milja) veći dolet ili prenijeti 500kg više tereta. Također ističu kako na letovima dužim od 2800km dolazi do 3.5% manje potrošnje goriva, a time i zrakoplovnih emisija. Slika 14 prikazuje ilustraciju smanjenja vrtloga na vrhovima krila. [33]



Slika 14 - Utjecaj zakrivljenih vrhova krila na nastajanje vrtloga [32]



## 5.2 Utjecaj mase zrakoplova na potrošnju goriva

Masa zrakoplova izravno je povezana s potrošnjom goriva. Za određeni prevezeni teret, lakše konstrukcije stvaraju manji otpor. Smanjenje mase može biti postignuto boljom izgradnjom okvira aviona, novim i lakšim materijalima i konstrukcijskim metodama. Smanjenje mase okvira zrakoplova omogućuje korištenje manjih i lakših motora. Smanjenje mase tih dviju komponenta omogućuje manje potrebnog goriva za određeni domet i prijevoz putnika i robe u odnosu na teži zrakoplov. *Barney L. Capehart* kaže kako generalno vrijedi pravilo da za svako smanjenje od 1% na težinu, potrošnja goriva smanjuje se za 0.75%. Današnji Airbus A380 sa najvećom dopuštenom masom uzlijetanja od 575 tona ima nosivost plaćenog tereta od 84 tone. Vidljivo je da postoji mnogo prostora za napredak korištenjem lakših materijala poput titana, karbonskih vlakana i struktura i drugih kompozitnih materijala. Ti materijali često imaju veću cijenu što predstavlja veći početni trošak i ulaganje, ali uzme li se u obzir broj letova koji će biti obavljeni i uštedu koju je moguće postići, nisu toliko neisplativi. Boeing 787 *Dreamliner* prvi je komercijalni zrakoplov koji ima trup, krila, rep, kontrolne površine izrađene od kompozitnih materijala. On je jedan do razloga zašto se TUI Airways nalazi na prvom mjestu po učinkovitosti trošenja goriva. Jedno od pitanja koje se postavljalo je bilo popravljjanje oštećenja na plastičnim dijelovima budući da je njihova primjena relativno nova. Inženjeri Boeinga pokazali su da su u korak sa zadacima popravka te su povećali broj isporuka tog modela i novijih verzija na otprilike 140 aviona godišnje. Kao jedan od njihovih glavnih konkurenata nalaže se Airbus A350XWB (*extra wide body*) sa otprilike 50% kompozitnom strukturom. Ovo su dva modela koja su privukla pažnju prijevoznika svojom isplativošću i učinkovitosti ostvarenoj po putničkim kilometrima. [33],[34]

## 5.3 Otpor zrakoplova

Otpor je jedan od glavnih „neprijatelja“ proizvođača zrakoplova. To je aerodinamička sila koja djeluje suprotno od smjera kretanja zrakoplova, a stvorena svakim vanjskim dijelom zrakoplova. Stoga, proizvođači veliku pažnju pridaju izradi zrakoplova kako bi se maksimalno smanjio otpor, a budući da su današnji zrakoplovi poprilično veliki i lete velikim brzinama, otpor je još uvijek velik čimbenik. Teži se da glavni dijelovi zrakoplova budu aerodinamičnog oblika preko kojeg struja zraka neprekidno teče sve do otprilike oštrog ruba na kraju krila, površina repa i malog oštrog završetka na repu trupa. Kada bi zrakoplovi bili napravljeni sa

kockastim stražnjim krajem, kao oni kod auta i kamiona, iza sebe bi ostavljali snažna kovitla zraka koji bi dovodili do povećanog otpora. Budući da se velik dio otpora nastao zbog oblika zrakoplova svodi prema vrlo malim razinama, dobar dio preostalog otpora nastaje kao rezultat trenja po oplati. Stoga, vrste aerodinamičkog otpora koje se promatraju su parazitski otpor i otpor nastao kao posljedica uzgona. [33]

## 5.4 Sustavi unutar zrakoplova

Zrakoplovi sadrže mnoštvo mreža električkih žica, pneumatskih kablova, cijevi za ventilaciju, itd. Potražnja za takvim sustavima raste svakim novim napretkom i razvitkom zrakoplova. Primjerice, uvođenjem sustava za zabavu putnika i ugrađivanjem ekrana na stražnje dijelove sjedala, postoji potreba za stotinama metara žica i instalacija. Uz pojavu toga započinje i potreba za smanjenjem njihovih masa, a uz povećanje pouzdanosti i učinkovitosti. Ovdje se prvenstveno misli na uvođenje lakših i bržih optičkih kablova i bežičnih sustava prijenosa podataka.

U starijim zrakoplovima, upravljačke površine kao što su krilca, zakrilca, kormilo pravca upravljale su se mehanički iz kokpita izravno pomoću kablova ili teških hidrauličkih sustava. OD 1980. godine oni su zamijenjeni lakšim i učinkovitijim električkim sustavima pomoću kojih se upravljalo upravljačkim površinama, „*fly-by-wire*“ upravljački sustav. Daljnja unaprjeđenja u dizajnu i masi pojedinačnih upravljačkih motora i sklopova smanjio je masu sustava koji se koriste u zrakoplovu. [33]

## 5.5 Pomoćna jedinica napajanja (*eng. APU – Auxiliary Power Unit*)

Na stražnjem dijelu zrakoplova nalazi se mali generator tj. pomoćna jedinica napajanja (*eng. APU – Auxiliary Power Unit*). Ta jedinica pruža energiju zrakoplovu u trenucima kada su glavni motori ugašeni, a koristi se uglavnom za osvjetljenje, klimatizaciju i druge sustave dok je zrakoplov parkiran na stajanki. Umjesto korištenja pomoćnih jedinica koje koriste gorivo, mnogi aerodromi ugrađuju, dovode i koriste električne sustave izravno do aviona kako bi smanjili upotrebu goriva i emisije ugljikovog dioksida. Proizvođači APU-a rade na unaprjeđenju performansi tih jedinica napajanja. Od 1960. godine, količina energije po kilogramu koju dostavlja APU se udvostručila, a potrošnja goriva se smanjila za 40%. U sadašnjosti i skoroj budućnosti, radi se na boljim APU kroz upotrebu boljih materijala, bolje

aerodinamičke sposobnosti, veće učinkovitosti s obzirom na temperaturu i manjom količinom emisija ugljikovog dioksida. Također, radi se na boljoj usklađenosti APU s ostalim sustavima zrakoplova kao što su neke od električnih instalacija kako bi se dalje smanjila težina zrakoplova kroz smanjenu potrebu za žicama i ostalim dijelovima instalacije. U budućnosti, postoji mogućnost korištenja manjih postrojenja sa stanicama goriva u zamjenu za trenutni APU. Prema projektima iz Airbusa, spremnici s gorivom nalazili bi se u kargo dijelu, a spremnim s tekućim dušikom, sustavom za izmjenu topline i ventilatorima nalazio bi se u dijelu repa. Pretpostavlja se da bi se takvim sustavom moglo uštedjeti i preko 6000 tona ugljikovog dioksida u operativnom vijeku aviona. [33]

Dodatno, podaci dobiveni od Airbusa bit će predstavljeni u nastavku. Iako potrošnja goriva APU predstavlja mali dio potrošnje goriva u odnosu na količine koje se potroše za cijeli let od strane motora, prijevoznici su uvidjeli mogućnost uštede i smanjenja zrakoplovnih emisija upravo ovim putem. Na zemlji, potrošnja APU ovisi o opterećenju koje vrši i okolnim uvjetima. Minimalna potrošnja događa se u stanju spremnom za opterećenje (*eng. RTL – Ready To Load*). Kako se opterećenje povećava, što uključuje opterećenje za električne potrebe (*eng. EL – Electrical Loads*) i opterećenje za korištenje sustava za klimatizaciju (*eng. ECS – Environmental Conditioning System*), potrošnja goriva se povećava što je prikazano tablicom 6. Svi predstavljeni podaci prikazani su u odnosu na ISA, SL uvjete. [35]

**Tablica 6 – Potrošnja pomoćne jedinice napajanja za dva različita moda rada [35]**

Tip zrakoplova	Model APU	RTL	RTL Max EL	Min ECS Max EL	Max ECS Max EL	Emisije CO <sub>2</sub>
A320 serija	36-300	70 kg/h	85 kg/h	105 kg/h	125 kg/h	393.8 kg/h
A320 serija	131-9A	75 kg/h	95 kg/h	115 kg/h	125 kg/h	393.8 kg/h
A330, A340	331-350	120 kg/h	140 kg/h	175 kg/h	210 kg/h	661.5 kg/h
A340-500/600	331-600	160 kg/h	180 kg/h	225 kg/h	225 kg/h	708.8 kg/h

Operator zrakoplova odlučuje o tome kako će i koliko koristiti APU. Njihov odabir određuje nekoliko čimbenika i svaki operator određuje isplativost korištenja APU ovisno o vremenu koje zrakoplov provede na zemlji prije novog polijetanja. Ti čimbenici su vrijeme okretanja zrakoplova, uvjeti okoline kao što su temperatura i vlažnost, cijena koju plaćaju za zemaljske instalacije, čekanja i kašnjenja koja su moguća za spajanje zemaljskih instalacija,

kvaliteta i pogodnost zemaljskih instalacija, popunjenost putničke kabine, ograničenja s obzirom na buku i slično.

Za dugo vrijeme okretanja zrakoplova i za ostajanje preko noći, zemaljska jedinica napajanja (GPU – Ground Power Unit) je najbolji izbor. Štedi kako i gorivo, tako i životni vijek APU. Operatorima se preporuča da u takvih slučajevima ukoliko im odgovara kvaliteta zemaljskih jedinica, iste i koriste i pokušaju pregovarati s aerodromima oko pogodne cijene za korištenje. Aerodromi također uvode generatore koji ne koriste gorivo za dobivanje energije već koriste sunčevu energiju.

Kratko vrijeme okretanja zrakoplova (u prosjeku 45 minuta), korištenje APU bi moglo imati značajan utjecaj na vijek APU u smislu ciklusa paljenja i poboljšanja pouzdanosti, čak i kada se ne koristi u potpunosti tijekom vremena okretanja. Bolje je koristiti APU u RTL stanju nego je u potpunosti ugasiti i onda ponovno izvršiti dodatan ciklus paljenja kratko nakon gašenja. Također, nedostatak zemaljskih jedinica ili prevelika cijena korištenja istih na nekim aerodromima također zahtjeva korištenje pomoćne jedinice napajanja. Neki aerodromi čak zabranjuju korištenje APU.

Za iznimno kratko vrijeme okreta zrakoplova, cjelovito gašenje motora imalo bi utjecaj na ciklus rada i paljenja motora i u tom slučaju, to kratko vrijeme okreta moglo bi se učiniti i bez APU. Treba napomenuti da tijekom iznimno toplih dana, glavni motor možda ponekad i neće moći zadovoljiti zahtjeve za ECS-om.

Izguravanje zrakoplova iz parkirne pozicije, paljenje motora i APU može imati značajan utjecaj na potrošnju goriva. Svaka minuta gdje je APU točnije upaljen pravim potrebama može dovesti do ušteda od otprilike 2000 do 4000 kilograma godišnje po zrakoplova, zavisno o tipu APU. Također, važno je planirati paljenje zrakoplova i odgoditi ga do trenutka kada su stvarno spremni za voženje, a do toga za električne i potrebe klimatizacije preporuča se koristiti APU. Tablicom 7 prikazan je uobičajen protok goriva za motore nekih Airbusovih modela i prikazuje koja je razlika u potrošnji goriva koristeći jedan motor umjesto APU za jednu minutu rada, pretpostavljajući da radi na maksimalnom električnom opterećenju i minimalnom opterećenju za klimatizaciju. [35]

Tablica 7 – Razlika u potrošnji goriva pri korištenju motora umjesto APU i izračun emisija CO<sub>2</sub>

Tip zrakoplova i motora	Model APU	Protok goriva motora kg/h/motor	Protok goriva APU kg/h	Dodatno potrošenog goriva za 1 minutu	Dodatna količina emisija CO <sub>2</sub> za 1 minutu
<b>A320 serija CFM</b>	36-300	300	105kg	3kg	9.45kg
<b>A330 GE</b>	331-350	520	175kg	6kg	18.9kg
<b>A330 RR</b>	331-350	720	175kg	9kg	28.35kg
<b>A340 CFM</b>	331-350	300	175kg	2kg	6.3kg
<b>A340 RR</b>	331-600	480	275kg	4kg	12.6kg

Gledano sa ekonomskog stajališta, korist operacija APU nije samo ograničena na potrošnju goriva. Sati održavanja APU su uvelike jeftiniji od održavanja pogonske grupe zrakoplova, pa smanjenje korištenja motora na zemlji, ukoliko nije potrebno, može značajno smanjiti operativne troškove.

## 5.6 Lakši dijelovi zrakoplova

Broj jedan za smanjenje mase zrakoplova je korištenje lakših materijala pa se tako teži zamjeni teških i aluminijskih dijelovima novim, plastičnim, karbonskim i ostalim kompozitnim materijalima. Tako su primjerice dostupne lakše, karbonske kočnice kao zamjena uobičajenim čeličnim. Pridonose smanjenju mase od najmanje 250 kilograma po zrakoplovu. Karbonske kočnice su se u početku koristile uglavnom na visoko-účinkovitim vojnim zrakoplovima. Manja masa i veća sposobnost apsorpcije energije opravdavala je veću cijenu u odnosu na čelične kočnice. Zbog manje cijene čeličnih kočnica, one su bile prvi izbor za komercijalne zrakoplove kratkog doleta, a karbonske na većim zrakoplovima s većim doletom. U prošlosti, veću cijenu karbonskih kočnica bilo je lakše opravdati za velike zrakoplove zbog ostvarenja većih ušteda i dužem životnom vijeku istih. Nove tehnologije i unaprjeđenja u sustavu održavanja karbonskih kočnica smanjile su „trošak po slijetanju“ do granice gdje se njihova cijena može mjeriti s čeličnim. [36]

Karbonske kočnice odgovaraju strogim zahtjevima komercijalnih zrakoplova. Materijal od kojih su sačinjene karakterizira visoka stabilnost pri visokim temperaturama, dobra toplinska

vodljivost i visoki toplinski kapacitet. U odnosu na čelične kočnice imaju duži životni vijek i mogu podnijeti čak dvostruko više slijetanja po održavanju. Cijena održavanja za većinu operacija slične su onima za čelične kočnice. Manja masa također je jedan od bitnih čimbenika kada se uspoređuje ove dvije vrste kočnica što omogućuje manju potrošnju goriva i smanjene emisije CO<sub>2</sub>. Tablicom 8 prikazane su uštede na masi ugradnjom karbonskih umjesto čeličnih kočnica u modele Boeingovih zrakoplova. [36]

Tablica 8 – Uštede na masi ugradnjom karbonskih kočnica umjesto čeličnih

TIP ZRAKOPLOVA	UŠTEDA MASE U LBS (KG)
737-600/-700	550 (250)*
737-600/-700/-700IGW/-800/-900/-900ER	700 (320)**
757	550 (249)
767	800 (363)
MD-10 Freighter	976 (443)

Također postoje i novi, lakši i učinkovitiji sustavi za upravljanje i pokretanje sustava za kočenje. Tako primjerice na tržište ulaze sustavi za kočenje sačinjeni kompletno od električnih komponenti koje su lakše i lakše je pratiti njihove parametre nego hidraulički ili pneumatski sustavi. Savladavanje velikih sila kao što su one pri usporavanju velikog zrakoplova nakon slijetanja može biti i učinkovito upotrebom sustava „koči da napusti stazu“ (*eng. „brake-to-vacate“*) koji kombiniraju satelitsko pozicioniranje sa bazom podataka aerodroma i upravljačkim sustavom za upravljanje letom. Kod takvih sustava, pilot bi odabrao izlaz na stazi na koji želi izići, a sustav bi osigurao da zrakoplov kočenjem zaista i napusti stazu na tom izlazu pri nekoj optimalnoj brzini, uzevši u obzir vremenske uvjete i uvjete na stazi. To bi osiguralo da se koristi točno određena i potrebna sila kočenja što bi produžilo operativni vijek sustava za kočenje, smanjilo vrijeme zadržavanja na uzletno-sletnoj stazi i prema prognozama dopustilo i do 15% više odlazaka kroz veću raspoloživost staze. Trebalo bi biti oprezan s takvim sustavima, budući da kontrola leta zbog prometne situacije nerijetko mijenja izlaz za određene zrakoplove,

moguća je greška pilota pri unosu, neki izlazi često i nisu dopušteni zbog raznih ograničenja, građevinskih radova, opasnosti i slično. [33]

## 5.7 Novi materijali i smanjenje mase strukture zrakoplova

Zadnjih desetljeća dolazi do stalnog porasta u korištenju kompozitnih materijala pri izradi strukture zrakoplova. Ti materijali pridonijeli su čvrstoći i izdržljivosti, a istovremeno smanjili masu zrakoplova. Korištenje kompozita u jednom novom zrakoplovu doprinosi smanjenju mase od oko 20% u odnosu na aluminijsku oplatu. Kompozitni materijali uobičajeno se sastoje od relativno jakih, čvrstih vlakana unutar tvrde smolaste matrice. Unutar smolaste strukture, vlakna su postavljena na način da tvore slojeve koji su polegnuti jedan preko drugog, povezani i zagrijani u velikim pećima. Glavni materijal koji se koristi u kompozitima za zračni promet je plastika očvrsnuta vlaknima sačinjenim od ugljikovih atoma i staklenim vlaknima (*eng. fiberglass*). Postoji nekoliko prednosti kompozita nad aluminijskim oplatama. Oni su u pravilu samo 60% gustoće aluminijske oplata, pružaju puno bolji omjer između mase, čvrstoće i izdržljivosti, ponekad i 20% bolje u odnosu na aluminij. Također se mogu izraditi u kompleksnijim i zahtjevnijim oblicima u odnosu na metalne protudijelove, smanjujući količinu dijelova potrebnih za sastavljanje trupa zrakoplova i potrebu za toliko zakovica, zatega i slično. [33]

## 5.8 Elisno-mlazni motori na kraćim rutama leta

Pojava elisno-mlaznih motora ranih 1940-ih godina predstavila je naglu promjenu u snazi, pouzdanosti i učinkovitosti naspram klipnih motora. Pravi turbomlazni motori kakvi su se koristili na ranim zrakoplovima s mlaznim motorima i kakvi se i danas koriste u vojne svrhe omogućavali su let sa većim brzinama, ali su također trošili više goriva od elisno-mlaznih motora. To elisno-mlazne motore čini odličnim za brzine krstarenja od 480 do 650 kilometara na sat (u usporedbi s mlaznim motorima koji su odlični za let od otprilike 800 kilometara na sat). Posljednjih godina jača interes za ovaj tip motora zbog njihovog potencijala u ekonomskom pogledu i utjecaju na okoliš. Moderni elisno-mlazni motori na kraćim rutama leta troše 25-40% manje goriva nego jednaki optočno-mlazni motori. [33]

## 5.9 Mlazni motori s visokim stupnjem optočnosti(*eng. High bypass ratio turbofan*)

Pojava mlaznih motora s visokim stupnjem optočnosti kasnih 1960-ih uvelike je promijenila zrakoplovnu industriju. Novi dizajn motora bio je dvostruko snažniji, a puno tiši i jeftiniji za korištenje od turbomlaznih motora koje su zamijenili. Ovakav tip motora otvorio je prostor novim širokotrupnim zrakoplovima, učinkovitije trošenje goriva motora kao i smanjenje buke u narednih 40-ak godina. Njihovom pojavom uvedene su dvije glavne promjene u izradi motora: dodana je druga niskotlačna turbina i velik ventilator ispred kompresora. Ventilator povlači veliku količinu zraka na usisnom dijelu motora, od kojeg je dio usmjeren prema toplom dijelu motora, komori za izgaranje, gdje se stlači, miješa s gorivom i izgara. Većina zraka zaobilazi, jezgru motora. Taj hladan zrak koji ne ulazi u komoru već prolazi izvan centralnog dijela motora zaslužan je za većinu potiska kojeg stvara motor. Ukoliko dvostruko više hladnog zraka prođe kroz motor nego kroz toplu jezgru, kaže se da je stupanj optočnosti jednak 2:1. Uobičajeno, što je veći stupanj optočnosti, manja je potrošnja goriva jer se više potiska stvara bez potrebe izgaranja tolike količine goriva. Kao što je spomenuto, mlazni motori s visokim stupnjem optočnosti također proizvode puno manje količine buke u odnosu na turbomlazne motore bez optoka iz razloga što hladan zrak koji okružuje ispuh smanjuje buku proizvedenu s ispušnim plinovima.

Prvi komercijalni mlazni motor s visokim stupnjem optočnosti imao je omjer oko 5:1. Trenutni modeli motora napravljeni su s omjerom od otprilike 11:1. Također, 2 motora na današnjim širokotrupnim zrakoplovima kao što su primjerice Airbus A350 proizvode više potiska nego što bi ga proizvela 4 motora kasnih 1960-ih, sve to uz manju potrošnju goriva, manje emisija i manje buke. Ulaganje u napredak tehnologije svakako se isplati, ovim tempom predviđa se poboljšanje učinkovitosti motora od 1% na godišnjoj razini. [33]

Proizvođači motora za uskotrupne zrakoplove trenutno pokušavaju razviti visoko učinkovitu tehnologiju koju se do sada uglavnom usmjeravalo prema zrakoplovima namijenjenim za velike udaljenosti. Njihova istraživanja uključuju korištenje visoko učinkovitih, visoko-tlačnih jezgri i većih ventilatora kako bi se postigao veći stupanj optočnosti. Teži se motorima s niskim troškovima održavanja unutar velike frekvencije letova i velikog broja ciklusa za uskotrupne zrakoplove, sve to uz prihvatljive razine rizika. Takvi motori trebali bi pružiti 16% manju potrošnju goriva i 75% smanjenje razina buke. Takva unaprjeđenja moguća su zbog napretka u aerodinamici, materijalima (kompoziti za tople i hladne dijelove),



premazima, boljoj tehnologiji izgaranja unutar komore i hlađenja, kao i boljoj integraciji cijelog motora i nosača sa okvirom aviona. [33]

## 5.10 Optočno-mlazni motori s reduktorom

Tehnološki napredak unutar zadnjeg desetljeća omogućio je daljnji napredak nečega što se koristilo na manjim motorima zrakoplova, optočno-mlaznih motora s mjenjačem brzine. Sustav brzina (sličan onome u autu) omogućuje ovoj vrsti motora da se dio s ventilatorom vrti manjim brzinama, a niskotlačnom kompresoru i turbini da rade pri puno većim okretajima što dovodi do povećane učinkovitosti motora, smanjuje potrošnju goriva, količinu emisija i buke. Ova nova vrsta motora za uskotrupne, komercijalne zrakoplove ušla je u operativni rad 2013. godine. Omogućuje 15-20% povećanje učinkovitosti u odnosu na starije motore koje zamjenjuju. Također osim smanjenja buke u zraku, smanjuju količinu buke i na zemlji. Upravo je ova vrsta motora ono što je potrebno da bi se nastavio cilj povećanja učinkovitosti od 1% ili više na godišnjoj razini. [33]

Primjer ovakve vrste motora je i *Pratt & Whitney PW1000G*, optočno-mlazni motor s visokim stupnjem optočnosti i reduktorom brzine vrtnje, prvotno namijenjen za Airbus A220, Mitsubishi Regional Jet i drugu generaciju Embraerovih E-mlaznih zrakoplova. PW1000G serija motora, praćena PW1100G prvi je puta ušla u komercijalnu upotrebu u siječnju 2016. godine na Lufthansinom Airbusu A320neo (*eng. neo – new engine option*), a bio je popraćen brojnim problemima, posebno vezanim za lopatice visokotlačnog kompresora i stjenka komore izgaranja čije je dijelove trebalo promijeniti, a čiji se problem najviše očitovao u najopasnijim fazama leta, polijetanju i penjanju. Stoga je otprilike 11 od 130 aviona opremljenih novim motorima u to vrijeme bilo prisiljeno ostati na zemlji čime su ostvareni gubici od 1.2 milijarde dolara. P&W ispravili su probleme vezane za motore serije 1000 i očekuju izdati više od 2500 GTF motora (*eng. geared turbofans*). Visoki stupanj optočnosti, čak i preko 12.2:1 omogućuje ovim motorima veći protok zraka koji je ne sudjeluje u procesu izgaranja, nego čini hladu struju zraka, što znači da je potrebno manje zraka koji prolazi kroz jezgru i komoru izgaranja, pa samim time je potrebno i manje goriva. Princip koji to dopušta je reduktor omjera 3:1 između ventilatora i niskotlačnog kompresora što omogućuje svakoj komponenti da se okreće optimalnom brzinom vrtnje. Ventilator se okreće 4000-5000 rpm, niskotlačni kompresor 12000-15000 rpm, a visokotlačni brzinama vrtnje većim od 20000 rpm. Te brzine vrtnje su optimalne za određene komponente što ih čini učinkovitijima. Reduktor koji

se ugrađuje napravljen je s doživotnim vijekom trajanja bez planiranih održavanja osim zamjene ulja. PW1100G kakav je na novim A320 avionima ima 20 oštrica na ventilatoru u odnosu na 36 kao što je to slučaj bio kod nekih prijašnjih motora. Prijavljeno je smanjenje od oko 17% smanjenja potrošnje goriva i razina buke do 25dB. [37]

Valja spomenuti i novi razvoj *UltraFan* motora od strane *Rolls Roycea*. Trenutno razvijaju motore koji bi bili u mogućnosti pružiti i do 440 kN potiska, a ulažu i u lakše materijale. Uobičajene, šuplje lopatice ventilatora od titana zamjenjuju karbonskim čime dobivaju uštedu od 340kg po motoru, što čini smanjenje od 2.142 tone ugljikovog dioksida samo od smanjenja mase zrakoplova.

### 5.11 Lakši dijelovi pri izradi i dijelovi unutar putničke kabine

Pretpostavlja se da će zrakoplov u službi ostati najmanje 25 godina, tijekom kojeg će se razdoblja izmijeniti nekoliko novih tehnologija učinkovitog trošenja goriva. Neki od tih modela moći će se primijeniti i na starije zrakoplove, dok će neki od njih biti dostupni samo na novim zrakoplovima. Tijekom svojeg životnog vijeka, istraženo je da bi zrakoplovu odgovarale barem dvije do tri kompletne promjene unutrašnjosti. To bi uključilo ugradnju lakših ploča, sjedala, kuhinja i kolica.

Veliki zrakoplovi mogu biti sastavljeni od preko milijun dijelova. Idealno vrijeme za moguće uštede na težini zrakoplova je u vrijeme njihovih velikih održavanja. Posebna se pozornost pridaje dijelovima zrakoplovnih podsustava kao što su svjetlosni, električni sustavi i sustavi za gorivo. Isto tako, samo rutinskom inspekcijom vanjskih površina tijekom zakazanih termina održavanja i ispravljanjem određenih nepravilnosti kao što su pukotine boje, ogrebotine i oštećena brtvila mogu smanjiti potrošnju goriva po zrakoplovu za 0.5%.

Na tržište izlaze boje za zrakoplove koji teže 10-20% manje nego boje korištene u zadnjih 10-ak godina. Razvijaju se nove vrste premaza koji će biti manje otporni na pucanje i koji će biti lakši. Jedan Britanski zračni prijevoznik objavilo je da su korištenjem boje koja nije zahtijevala treći premaz uštedili 136 kilograma boje po zrakoplovu, što se odnosi na samu masu praznog zrakoplova i smanjuje količinu emisija za 428.4 kilograma CO<sub>2</sub>.

Prema svemu navedenom, nije nepoznanica da se proizvođači zrakoplova i zračni prijevoznici trude smanjiti masu zrakoplova u svakom pogledu. Njihove mjere kreću se od smanjenja mase posuđa koje se koristi do pravovremenih pranja zrakoplovnih motora. Tome i

uvelike pridonosi nova vrsta materijala, ponajviše materijala baziranim na karbonskim vlaknima kojima se nastoje zamijeniti tradicionalni aluminijski dijelovi, kako u unutrašnjosti, tako i u vanjskom dijelu zrakoplova. Prema podacima jednog zračnog prijevoznika, uvođenjem lakših kolica za posluživanje pića, koja su bila 9 kilograma lakša od prošlih, uštedili su i do 500000\$ godišnje u troškovima goriva za cijelu flotu.

Ranije, još u ožujku 2009. godine predstavljena su nova, lakša sjedala za ekonomsku klasu čija je masa bila 6 kilograma, 4 kilograma lakša nego uobičajena sjedala koja su se koristila u toj klasi. Zamjenom sjedala s aluminijskom oplatom s onima od karbonskih vlakana, jedan prijevoznik uspio je smanjiti masu jednog reda sjedala za čak 8.8 kilograma. Također, rađena su istraživanja da na nekim letovima nisu potrebni topli obroci što je omogućilo micanje sredstava za grijanje iz zrakoplova na tim letovima. Za razliku od nekih Hrvatskih zračnih prijevoznika, neki su maknuli teške, tvrde časopise za čitanje. Čvrste ploče zamijenjene su zavjesama pri odvajanju poslovne i ekonomske klase. [33]

Prijevoznici su shvatili da na određenim letovima nose previše vode što je uvelike povećavalo masu zrakoplova. Stoga, rađena su istraživanja koliko je pitke vode zaista potrebno uzevši u obzir broj putnika, popunjenost kabine i vremenska razdoblja unutar kojih lete pa su se spremnici vode i punili shodno tome umjesto da su ih punili do kraja kao i inače. Prijavili su smanjenje od 0.09% godišnje potrošnje goriva samo ovom mjerom. [33]

## **5.12 Smanjenje potrošnje goriva povećanjem mase**

Povećanje mase ne mora nužno značiti i povećanje potrošnje goriva. U svrhu toga, provedena su mnoga istraživanja pa su primjerice neki Američki zračni prijevoznici na svojim rutama od Miamia do New Yorka svoje zrakoplove opremili prslucima za spašavanje kako bi mogli ići rutama preko vode, učinkovitijim rutama. Uvođenjem uređaja za odvlaživanje koji su pogonjeni električnom energijom, a ugrađuju se na strop ili ispod poda, također je moguće ostvariti uštede goriva. Primjerice, mogu se odvlažiti izolacijske deke smještene između oplata zrakoplova i putničke kabine. Izračunato je da se otprilike odvlaži oko 200 kilograma vode iz svakog zrakoplova, što uvelike smanjuje potrošnju goriva. Jedan zračni prijevoznik sa svoja 42 zrakoplova, uvođenjem ovakvih sustava za odvlaživanje, ostvario je uštede od otprilike dva milijuna litara goriva u godinu dana. [33]

### 5.13 Pranje zrakoplova i motora

Redovito pranje i ispiranje zrakoplova smanjuje količinu potrošenog goriva jer prašina i čestice zemlje povećavaju masu zrakoplova i povećavaju otpor. To također doprinosi i učinkovitosti cijelog zrakoplova. Na primjer, dobiveni su rezultati da se jednim ispiranjem motora smanjuje potrošnja goriva za 1.2% i smanjuje se temperatura ispušnih plinova za otprilike 15°C, povećavajući svojstva motora i potrebno vrijeme između njihovih održavanja. [33]

### 5.14 Operativne procedure za bolju učinkovitost trošenja goriva

Jedan od čimbenika koji bi mogli povećati učinkovitost trošenja goriva povezan je sa mrežom letova koje obavlja zračni prijevoznik. To uključuje zajednička partnerstva (*eng. code-sharing*) s drugim zračnim prijevoznicima što bi dopustilo korištenje većih zrakoplova sa više putnika i bolje faktore popunjenosti kabine. Nove tehnologije upravljanja prinosima mogle bi povećati broj putnika po letu, a samim time bi se povećala i učinkovitost potrošnje goriva po sjedalu. Raznolikost u floti, odnosno pravilan odabir zrakoplova za određene rute leta, također mogu utjecati na potrošnju goriva. Danas je vrlo važno da i manji dvomotorni zrakoplovi mogu letjeti na dužim rutama i direktno povezati dva grada što znači da presjedanje nije potrebno kao što je prije bilo. Dodatno, velike uštede goriva dobivene su velikim napretkom visoko sofisticiranih alata za planiranje i upravljanje letom. Oni omogućuju pilotima da iskoriste trenutni vjetar i vjetar na ruti u svoju korist, izračunaju točne količine potrebnog goriva, postaviti različite razine leta i brzine kako bi zrakoplov postigao optimalnu ekonomsku učinkovitost. Također im omogućuje izračunavanje točnog centra mase kako zrakoplov postaje lakši u zraku zbog potrošnje goriva. Postavljanje malo više težine prema kraju zrakoplova mogu smanjiti potrošnju goriva. Zapravo, poravnanje od 28 centimetara prema mjestu gdje se nalaze najteža prtljaga i teretni kontejneri može smanjiti potrošnju goriva za 0.5% po letu. [33]

### 5.15 Operacije neprekinutog snižavanja (eng. *CDOs - Continuous Descent Operations*)

Kao što je već prije spomenuto, potrošnja zrakoplovnog goriva ovisi o mnogo čimbenika, tipu motora, opterećenju, vremenskim uvjetima, ali isto tako može ovisiti i o kontroli leta i usluzi koju pružaju. Najkraća ruta od pozicije A do pozicije B uzrokuje i najmanju potrošnju goriva. Potrošnja goriva zrakoplova ne mijenja se samo drugačijim horizontalnim profilom, već također i vertikalnim profilom leta. Avioni troše manje goriva kada se mogu duže zadržati na većim visinama. Razlog tome je rjeđi zrak na većim visinama pa je i otpor zraka manji. Potencijalna energija zrakoplova koju ima na određenoj visini može biti iskorištena za neprekidno snižavanje i time trošiti manje goriva i ispuštati manje zrakoplovnih emisija. Takve operacije nazivaju se operacijama neprekinutog snižavanja. Za nekoliko Njemačkih aerodroma, Njemački pružatelj usluga kontrole zračne plovidbe (DFS – *Deutsche Flugsicherung*) dogovorio je s prijevoznicima da dopuste pilotima da sami odrede procedure za snižavanje. To bi im dopuštalo da izvedu operacije neprekinutog snižavanja nezavisno o prometnom opterećenju, a dobiveni rezultati istraživanja pokazali su povećan broj takvih načina snižavanja. [33][38]

Također, provedena su istraživanja u kojem su uspoređene uobičajene procedure snižavanja naspram neprekidnih operacija. Ovisno o tipu zrakoplova, dobiveni rezultati pokazali su uštedu od otprilike 100 kilograma goriva po letu, što bi iznosilo oko 315 kilograma ispuštenih emisija CO<sub>2</sub>. Ovo bi prouzročilo velike uštede uzme li se u obzir broj letova koji se odvijaju godišnje. Istraživanja provedena na aerodromima u Munchenu, Hannoveru i Frankfurtu zbrojeno su dala uštede od čak 20 tona goriva u samo mjesec dana. Količina je to emisija CO<sub>2</sub> koja bi odgovarala otprilike 63 tone. Uz smanjenje potrošnje goriva, značajno je i smanjenje utjecaja buke koju zrakoplov stvara operacijama neprekinutog snižavanja. [39]

U sklopu istraživanja zemalja Europske konferencije civilnoga zrakoplovstva (eng. *ECAC - European Civil Aviation Conference*) nađeno je da bi CDO mogle uštediti i preko 150000 tona goriva godišnje, vrijednih oko 100 milijuna Eura godišnje, a istovremeno smanjiti emisije CO<sub>2</sub> za gotovo 500000 tona godišnje i smanjujući utjecaj buke na zemlji za otprilike 1-5 decibela po letu.

## 5.16 Voženje jednim motorom kod dvomotornih zrakoplova

Više od 95% goriva zrakoplovi potroše u zraku, dok se ostatak koristi za voženje sa stajanke prema uzletno-sletnoj stazi i obrnuto, ili dok je zrakoplov parkiran. Ovo je mali udio u količini ispuštenih emisija, ali nikako nije zanemariv pa se posebna pažnja pridaje i zemaljskim operacijama zrakoplova. Zrakoplovni prijevoznici već niz godina koriste voženje pomoću jednog motora kao mjeru uštede goriva i smanjenja emisija. Upotrebom takvih operacija, neki prijevoznici uštedjeli su i do 15 milijuna litara godišnje. Neki Britanski zračni prijevoznici izračunali su da voženjem jednu minutu pomoću jednog motora uštede i do 430 tisuća litara godišnje. U razvitku su trenutno, s time da još uvijek nisu službeno odobreni, električni motori koji bi pogonili nosne kotače i vozili zrakoplov dok je na zemlji, a voženje bi se prebacilo na snagu motora jednom kada zrakoplov dosegne poziciju za čekanje i približi se stazi. [33]

## 5.17 Zemaljska električna jedinica napajanja

Područje na kojem se mogu ostvariti zaista velike uštede po pitanju potrošnje goriva je smanjenje korištenja pomoćnih jedinica napajanja na zrakoplovu (APU) koje služe za pokretanje i održavanje električkih sustava u zrakoplovu, klimatizacijskog sustava i sličnog dok je na zemlji s ugašenim motorima. Velik broj aerodroma uvodi zemaljske električne jedinice napajanja (GPU – Ground Power Unit) koje se priključe direktno na zrakoplov, obavljaju isti posao kao i APU, tako da se u zrakoplovu ne treba koristiti APU u tolikoj količini i trošiti gorivo. Svaki aerodrom je drugačiji pa koristi drugačije sustave, ali obično su to zemaljski generatori. Istraživanja su pokazala da bi se korištenje APU moglo smanjiti za 85% upotrebom takvih generatora, smanjujući potrošnju goriva s uštedama i do 100 tisuća dolara godišnje po jednom parkirnom mjestu zrakoplova. Dodatno, smanjenjem vremena rada APU-a također se smanjuje i trošak za održavanje istih. Na aerodromima srednje veličine, postavljanjem ovih zemaljskih jedinica na 50 parkirnih mjesta zrakoplova ostvareno je smanjenje od 33 tone emisija CO<sub>2</sub> unutar godine dana, što je približno 10 tona goriva. [33]

## 5.18 Suradnja zemaljskih jedinica na aerodromu, zrakoplovnih prijevoznika i kontrole letenja

Najveće povećanje učinkovitosti potrošnje goriva na zemlji dobiva se kroz smanjenje čekanja i kašnjenja, dodatnog trošenja goriva, dok zrakoplov čeka u redu za polijetanje zbog uvedenih regulacija, ili dok čeka da mu se oslobodi pozicija za parkiranje, što je vrlo često kod velikih Američkih aerodroma. Bolja suradnja između zrakoplovnih prijevoznika, aerodroma i jedinica upravljanja zračnim prometom kao dio skupnog donošenja odluka na aerodromu (*eng. A-CDM – Aerodrome Collaborative decision making*) osigurala bi da prijevoznici mogu preciznije uskladiti svoje operacije sa raspoloživosti uzletno-sletne staze i kapacitetom zračnog prostora. Uštede koje se mogu postići ovim metodama su iznimno velike. U SAD-u, trošak koji je nastao povećanom potrošnjom goriva na zemlji uslijed čekanja iznosio je više od 5 milijardi dolara u 2008. godini. A-CDM direktno povezuje aerodrome u mrežu upravljanja zračnim prometom i daje korisnicima pristup rasponu određenih operativnih podataka, dopuštajući im da svoje operacije učine učinkovitijima. Uspješna implementacija vodi prema smanjenju emisija i zadovoljavanju postavljenih ciljeva koji su navedeni ranije u radu. Međusobno točno i pravovremeno dijeljenje podataka između jedinica upravljanja zračnim prometom, zrakoplovnih prijevoznika, operatora aerodroma, zemaljskog osoblja za prihvat zrakoplova i pružatelja usluga kontrole zračnog prometa zahtjeva ulaganje u nove sustave i metode rada. Na jednom Europskom aerodromu A-CDM smanjio je vrijeme voženja za 10%, što je prijevoznicima uštedilo i do 3.6 milijuna dolara godišnje kroz manju potrošnju goriva. [33]

## 5.19 Težište

Bruto težina zrakoplova je zbroj mase praznog zrakoplova, plaćenog tereta i putnika i goriva u zrakoplovu, a smanjuje se kroz let kako se troši ulje i gorivo. Djeluje kao jedna sila kroz težište, a određuje se grafovima (*eng. balance chart*) uzimajući u obzir težište praznog zrakoplova, raspodjelu goriva i plaćenog tereta. Treba se osigurati da težište bude u dopuštenim razinama (*eng. center of gravity envelope*). Težište pomaknuto više prema prednjem dijelu aviona zahtjeva moment podizanja nosa prema gore koji nastaje smanjenjem uzgona na repu, a koji treba biti nadomješten sa više uzgona na krilima. To stvara veći inducirani otpor i dovodi do povećane potrošnje goriva. Bolje je imati težište što je više iza moguće. Zbog toga što pomicanje težišta više prema repu smanjuje dinamičku stabilnost zrakoplova, krajnji položaj težišta definiran je envelopom. [35]

Tvrtka Airbus razvila je automatski sustav prebacivanja goriva koji upravlja pozicijom težišta. Sustav je stavljen na neke A300 i A310 modele i na sve A330 i A340. Kada je zrakoplov u fazi krstarenja, sustav optimizira poziciju težišta kako bi smanjio potrošnju goriva smanjenjem otpora na zrakoplovu. Sustav prebacuje gorivo u spremnik za podešavanje (*eng. trim tank*) (stražnje prebacivanje) ili iz spremnika za podešavanje (prednje prebacivanje). To kretanje goriva mijenja težište, a piloti također mogu i ručno odrediti prednje prebacivanje. Računalo za upravljanje gorivom (*eng. FCMC - The Fuel Control and Management Computer*) izračunava težište zrakoplova koristeći niz čimbenika kao što su masa zrakoplova bez goriva, MTOW, sadržaj spremnika za gorivo... Neprekidno računa težište u letu. Iz tih izračuna FCMC određuje koja će se količina goriva pomicati prema iza ili prema naprijed tijekom leta kako bi se održalo težište unutar ciljane vrijednosti i 0.5% prema naprijed od te vrijednosti. Uobičajeno, jedno početno podešavanje goriva prema iza događa se kasno u početnom penjanju, a tijekom leta događa se nekoliko manjih pomicanja prema naprijed zbog toga što trošenje goriva pomiče težište više prema iza. Konačno, prebacivanje prema naprijed događa se kako se zrakoplov približava svojem odredištu kako bi se težište dovelo u razine potrebne za slijetanje. Vrlo je važno napomenuti da ovo vrijedi za širokotrupne zrakoplove s dva prolaza. Za ciljane poziciju centra na 28% za A330 i A340, pomicanjem centra prema iza na 37% ostvaruje se povećanje specifičnog doleta (*eng. specific range*) od 0.5% odnosno 0.6%. Pomicanjem centra prema naprijed na 20%, smanjuje se specifični dolet za -1.3% odnosno -0.9%. Za uskotrupne zrakoplove kao što je Airbus A320 ovaj sustav bi imao učinak koji je zanemariv na potrošnju goriva pa se koriste druge metode. [35]

## 5.20 Gorivo za let

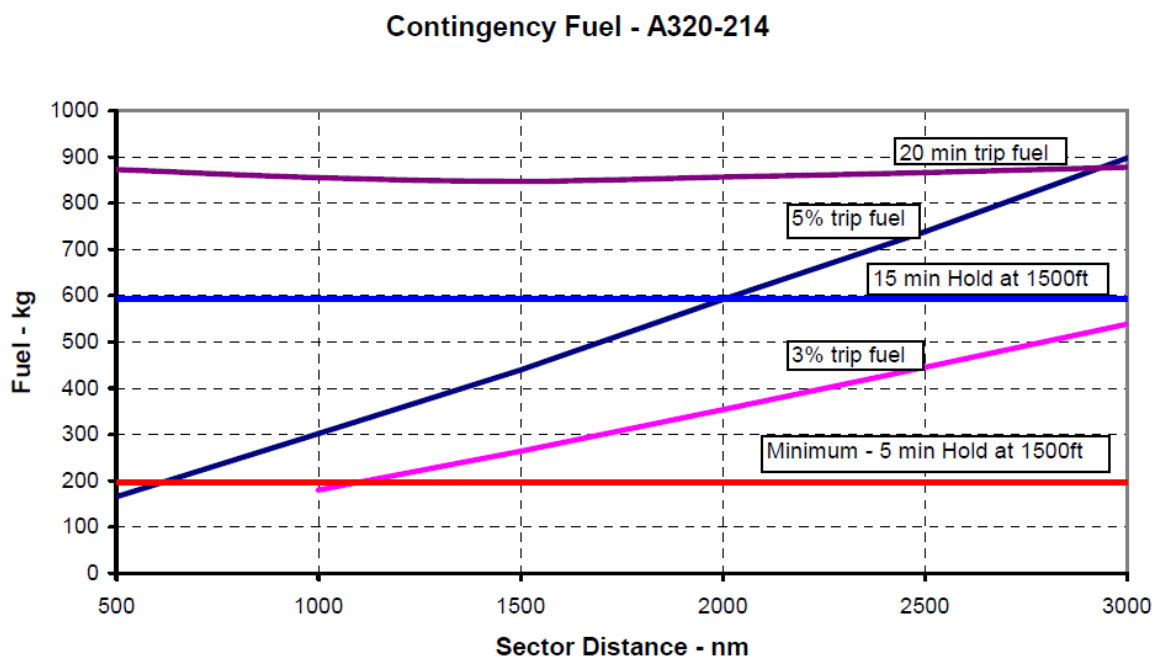
Gorivo koje se toči u zrakoplov za let uključuje gorivo za paljenje motora, gorivo za voženje, gorivo za let, pričuvno gorivo, gorivo za prijenos i gorivo za pomoćnu jedinicu napajanja. Kako bi se izbjeglo dodatno povećanje mase zrakoplova, važno je precizno planirati količinu goriva koja će se koristiti za cijelu operaciju od polazišta do odredišta. Planiranje također treba biti odrađeno na način da se koriste najbolje moguće rute i razine leta. Prema ICAO Dodatku 6, prijevoznici trebaju računati količine potrebnog goriva kao:

- Gorivo za voženje
- Gorivo za let (da bi dostigli određenu destinaciju)



- Gorivo za slučaj nužde (5% goriva za let ili 5 minuta u čekanju na 1500 stopa iznad aerodroma destinacije u standardnim ISA uvjetima)
- Gorivo za slučaj alternacije (da bi odletio proceduru neuspjelog prilaženja i sigurno stigao do alternativnog aerodroma)
- Gorivo zadnje pričuve (dovoljno za 30 minuta u proceduri čekanja pri brzini procedure čekanja i na 1500 stopa iznad elevacije aerodroma u standardnim uvjetima)
- Dodatno gorivo (ukoliko je potrebno kako bi se osiguralo da se dosegne alternativni aerodrom s otkazom motora ili na nižim visinama zbog gubitka tlaka)
- Gorivo na diskreciju pilota (ukoliko pilot iskustvom odluči da je potrebno)

Slikom 15 prikazan je iznos goriva za slučaj nužde s obzirom na udaljenost.



Slika 15 – Iznos goriva za slučaj nužde s obzirom na udaljenost sektora [35]

Vidljivo je da je za linije manje od 500nm dovoljno imati minimalnu količinu goriva koja je dovoljna za čekanje od 5 minuta na 1500 stopa iznad aerodroma. Za veće udaljenosti do 2000nm iznosi 5% od goriva za let, a nakon toga može se koristiti količina dovoljna za 15 minuta čekanja na 1500 stopa pri standardnim uvjetima. [35]

## 5.21 Voženje zrakoplova

Bitno je dobro planirati vrijeme voženja zrakoplova. Na nekim aerodromima to iznosi 5 minuta, a na nekima i nekoliko desetaka minuta. Mlazni motori optimizirani su za razne uvjete u letu, ali svi zrakoplovi provedu značajnu količinu vremena na zemlji vozeći od stajanke prema uzletno-sletnoj stazi i obrnuto. Uporaba jednog motora kod dvomotornih zrakoplova, odnosno dva motora kod četveromotornih zrakoplova pri voženju može pomoći u smanjenju potrošnje goriva zrakoplova na zemlji. Tvrtka Airbus izdaje standardne procedure za operacije voženja s jednim, odnosno dva motora u Operativnom priručniku za letačko osoblje (*eng. FCOM – Flight Crew Operating Manual*). Nekoliko je važnih čimbenika koje treba uzeti u obzir pri primjeni spomenutih operacija voženja:

- Nije preporučljivo za zrakoplove velike bruto mase
- Ne preporuča se korištenje kada je staza mokra i kod uzvišica
- Treba biti oprezan jer ne postoji vatrogasna postrojba blizu zrakoplova koji pali motore dalje od stajanke
- Smanjena redundancija povećava rizik od gubitka sposobnosti kočenja i upravljivosti nosnog kotača
- FCOM procedure zahtijevaju ne manje od propisanog vremena za paljenje drugog motora prije polijetanja (2-5 minuta ovisno o motoru). Kod motora s visokim stupnjem optočnosti, zagrijavanje motora prije pružanja potiska potrebnog za polijetanje ima velik utjecaj na životni vijek motora
- Mehanički problemi mogu nastati tijekom paljenja drugog motora što može uzrokovati potrebu za vraćanjem na stajanku i kašnjenje u polijetanju
- FCOM procedure zahtijevaju da se APU upali prije gašenja motora nakon slijetanja kako bi se izbjegle električne varijacije
- FCOM procedure zahtijevaju ne manje od određenog vremena prije gašenja drugog motora nakon slijetanja. Kod motora s visokim stupnjem optočnosti, hlađenje motora nakon korištenja reversera ima značajan utjecaj na životni vijek motora
- Ako zračni prijevoznik odluči koristiti ove procedure, trebao bi pratiti FCOM preporuke za motore koje bi trebao koristiti u tim slučajevima

Budući da slučajevi voženja s jednim motorom zahtijevaju više potiska za postizanje određenih manevara, treba paziti na potisak koji se stvara iza motora. U praksi, posebno je

važno da u tim slučajevima nema laganih zrakoplova iza njih jer postoji mogućnost od prevrtanja. Također, puno više potiska je potrebno pri ostrim zaokretima i okretajima za 180 stupnjeva, kao što je to često i slučaj na zračnoj luci Dubrovnik. Treba biti oprezan jer kod aviona veće mase oštri zaokreti u smjeru motora koji se koristi za voženje mogu biti otežani ili nemogući. Ovim operacijama kod lakših zrakoplova, moguće je smanjiti nepotrebno korištenje kočnica i sačuvati njihov životni vijek. Tablica 9 pokazuje uštede goriva za određeno vrijeme voženja od 12 minuta. Prvi slučaj za voženje 12 minuta sa svim motorima, drugi za 12 minuta voženja, ali sa 8 minuta bez jednog, odnosno dva motora, sa 4 minute ostavljeno kao potrebno vrijeme za paljenje drugog motora. Konačno, dane su uštede po pitanju količine goriva i količine uštede emisija CO<sub>2</sub> izražene u kilogramima. [35]

**Tablica 9 – Uštede goriva voženjem s jednim/ dva motora umjesto svim motorima**

<b>Tip zrakoplova</b>	<b>12 minuta voženja (svi motori)</b>	<b>12 minuta voženja (8 minuta bez jednog/dva motora)</b>	<b>Uštede goriva</b>	<b>Uštede emisija CO<sub>2</sub></b>
<b>A300-600</b>	300kg	200kg	100kg	315kg
<b>A310</b>	240kg	160kg	80kg	252kg
<b>A318</b>	120kg	80kg	40kg	126kg
<b>A319</b>	120kg	80kg	40kg	126kg
<b>A320</b>	138kg	92kg	46kg	144.9kg
<b>A321</b>	162kg	108kg	54kg	170.1kg
<b>A330</b>	300kg	200kg	100kg	315kg
<b>A340-200/300</b>	300kg	200kg	100kg	315kg
<b>A340-500/600</b>	420kg	280kg	140kg	441kg

## 5.22 Starenje i trošenje aerodinamičke strukture

Neki od najvećih gubitaka po pitanju potrošnje goriva uzrokovani su povećanjem induciranog otpora kao rezultat lošeg stanja strukture zrakoplova. Normalno trošenje aerodinamičke strukture zrakoplova kroz određeni period vremena uključuje nepotpuno

uvlačenje površina koje se pomiču, oštećene brtve na kontrolnim površinama, hrapavost površine i deformaciju dijelova zbog udara ptica, ispucalu boju i premaze, iskrivljena vrata i prevelike praznine između. Svaki od navedenih problema uzrokuje povećanje induciranog otpora što dalje utječe na povećanu potrošnju goriva i ispuštanje emisija. Tablica 10 pokazuje neke od najčešćih problema koji nastaju i povećavaju otpor na zrakoplovima Airbusa. Povećanje emisija ugljikovog dioksida u tablici dano je za seriju A320.

**Tablica 10 – Najčešći uzroci povećanog aerodinamičkog otpora s utjecajem na potrošnju goriva**

Kategorija	Stanje	A300/310	Seriya A320	A330/340	Emisije CO <sub>2</sub>
<b>Pogrešno postavljanje</b>	Predkrilca 15mm	90kg	60kg	270kg	189kg
<b>Nedostatak brtvila</b>	Na zakrilcima (niz krilo)	30kg	14kg	90kg	44.1kg
<b>Pomaknuta površina</b>	Prednja kargo vrata za 10mm	20kg	11kg	80kg	34.65kg
<b>Puštanje brtvila na vratima</b>	Prednja putnička vrata 5cm	2kg	1kg	5kg	3.15kg
<b>Hrapavost površine</b>	1m <sup>2</sup>	21kg	13kg	105kg	40.95kg
<b>Udubljenja</b>	Male deformacije	2kg	1kg	2kg	3.15kg
<b>Razmaci spojeva kod repa aviona</b>	nepopunjeni	0.2kg	0.1kg	0.6kg	0.315kg
<b>Razmaci spojeva kod repa aviona</b>	prepopunjeni	3kg	2kg	7kg	6.3kg

<b>Vanjske zakrpe</b>	1m <sup>2</sup> , 3mm visine	6kg	3kg	16kg	9.45kg
<b>Pucanje boje</b>	1m <sup>2</sup> na pretkrilcima	12kg	8kg	57kg	25.2kg
<b>MJERENA UDALJENOST</b>		<b>2000NM</b>	<b>1000NM</b>	<b>4000/6000NM</b>	<b>1000NM</b>

## 5.23 Odabir optimalne visine i brzine leta

Odabir optimalne visine i brzine leta jedan je od najvažnijih čimbenika na potrošnju goriva. Nažalost po zračne prijevoznike, to im nije moguće uvijek dozvoliti. Sve to ovisi o prometnoj situaciji, vremenu, duljini leta, vrsti kontrole leta koja se pruža i slično. Također, u Airbusu navode značajnost odabira brzine leta pri penjanju. Kao srednju i referentnu vrijednost uzimaju brzinu od 300 čvorova, a razinu leta na koju zrakoplov penje FL350. Pravila obično ne dopuštaju brzinu veću od 250 čvorova ispod razine leta FL250, ali uz odobrenje kontrole zračnog prometa to je moguće. Tablica 11 prikazuje utjecaj manje ili veće brzine pri penjanju na potrošnju goriva od referentne, a tablica 12 prikazuje koliko se za tu istu promjenu brzine uštedi na vremenu penjanja. Moguće je vidjeti koliko brže ili sporije će zrakoplov doći do optimalne razine leta. [35]

Tablica 11 – utjecaj promjene brzine u penjanju na potrošnju goriva izraženo u kilogramima [35]

Aircraft	Climb Mach No.	ΔFuel – kg				
		270KT	280 KT	300 KT	320 KT	330 KT
A300	0.78	+40	+15	0	+5	+10
A310	0.79		+5	0	+5	+15
A318/A319/A320	0.78		-15	0	+30	+70
A321	0.78		-10	0	+25	+60
A330	0.80	+15	+5	0	+20	+35
A340-200	0.78	+45	+20	0	+10	+25
A340-300	0.78	+105	+50	0	-5	+20
A340-500/600	0.82		+135	0	-5	-10

Tablica 12 – utjecaj promjene brzine u penjanju na vrijeme potrebno za dostizanje do optimalne razine leta [35]

Aircraft	Climb Mach No.	$\Delta$ Time – minutes				
		270KT	280 KT	300 KT	320 KT	330 KT
A300	0.78	+0.8	+0.5	0	-0.3	-0.4
A310	0.79		+0.5	0	-0.5	-0.6
A318/A319/A320	0.78		+0.5	0	-0.4	-0.8
A321	0.78		+0.8	0	-0.6	-1.0
A330	0.80	+0.9	+0.6	0	-0.4	-0.7
A340-200	0.78	+1.4	+0.8	0	-0.6	-0.8
A340-300	0.78	+1.5	+0.9	0	-0.6	-1.0
A340-500/600	0.82		+0.8	0	-0.6	-0.8

Vrlo utjecajan na potrošnju goriva je odabir razine leta u fazi krstarenja. Odabir optimalne razine leta u krstarenju ponekad može biti ograničen performansama zrakoplova, sposobnosti u penjanju, masom zrakoplova, ograničenjima kontrole letenja i slično. Pri konstantnom Machovom broju, za svaki masu zrakoplova postoji razina leta gdje je specifični dolet najveći. Ta se razina leta naziva optimalnom razinom leta. Tablicom 13 prikazana je razlika u specifičnom doletu s obzirom na let niže ili više od optimalne razine za određene zrakoplove Airbusa. [35]

Tablica 13 – Razlika u specifičnom doletu s obzirom let s razlikom u odnosu na optimalnu razinu leta

Aircraft	+2000ft	-2000ft	-4000ft	-6000ft
A300B4-605	2.0%	0.9%	3.4%	9.3%
A310-324	1.9%	1.4%	4.4%	9.3%
A318-111	0.7%	1.6%	5.0%	10.0%
A319-132	1.0%	3.0%	7.2%	12.2%
A320-211	**	1.1%	4.7%	9.5%
A320-232	1.4%	2.1%	6.2%	12.0%
A321-112	2.3%	1.4%	4.6%	15.2%
A330-203	1.8%	1.3%	4.2%	8.4%
A330-343	3.0%	1.0%	3.2%	7.2%
A340-212	1.4%	1.5%	4.0%	8.0%
A340-313E	1.5%	1.6%	5.2%	9.5%
A340-642	1.6%	0.6%	2.2%	5.1%

U pravilu, ako zrakoplov leti unutar 2000ft od optimalne razine leta, tada je specifični dolet unutar 2% od maksimalnog. Osim toga, vrlo je važno spomenuti potrošnju goriva. Primjerice, kod Airbusa A340 koji za određenu masu ima optimalnu razinu leta FL330. Ako zrakoplov leti na razini leta FL310, specifični dolet je 2.1% manji za tu masu zrakoplova. Uzevši u obzir da će zrakoplov nakon 1400NM potrošiti 20t goriva, zbog smanjenja mase njegova će se optimalna razina leta pomaknuti na FL350, što će tada uzrokovati smanjenje specifičnog doleta od 5.2% ako zrakoplov nastavi letjeti na FL310. Podaci za A320 gdje se navodi +2000 stopa nisu dostupni jer bi se tada zrakoplov nalazio iznad najveće dopuštene razine leta.

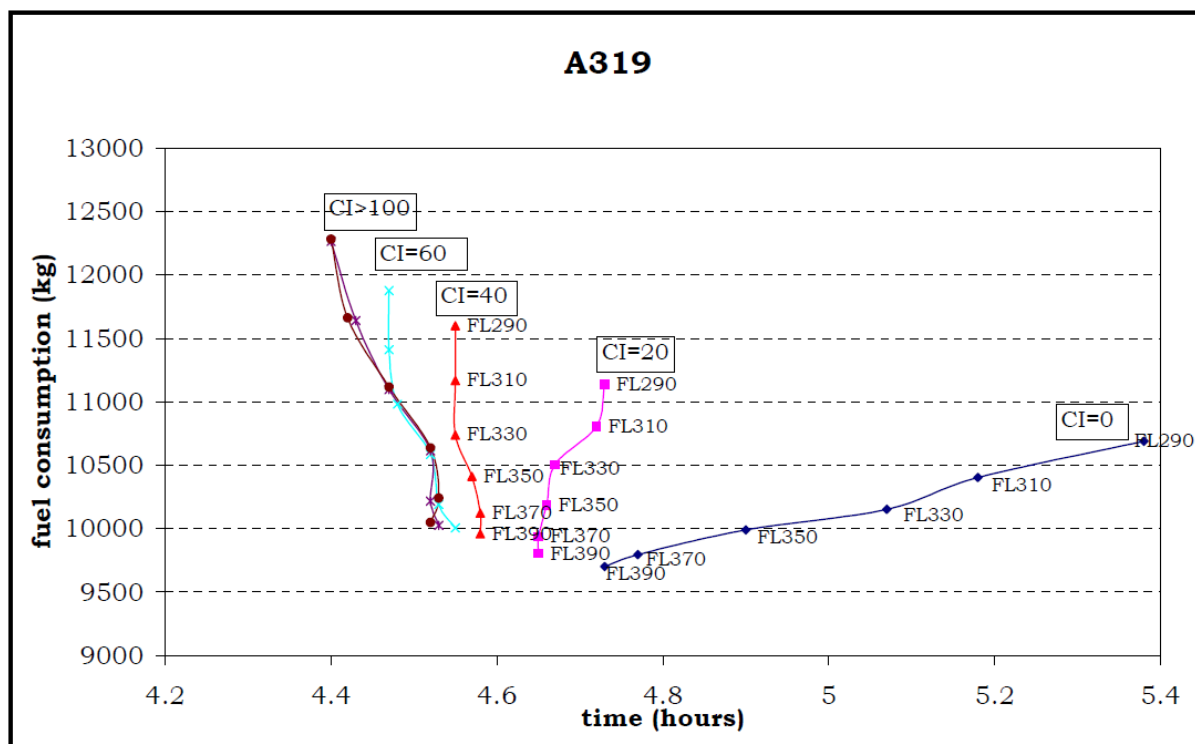
Ako se pretpostavi da zrakoplov leti na razini leta FL330, a ima takvu masu da mu je optimalna razina leta FL370, ukoliko mu to nije omogućeno od strane kontrole letenja ili nekih drugih ograničenja, potrošit će više goriva. Tablica 14 prikazuje razliku u potrošnji goriva i utjecaj na zrakoplovne emisije za udaljenost od 500NM u krstarenju kada zrakoplov leti na FL330 umjesto FL370. [35]

**Tablica 14 – Razlika u potrošnji goriva za let u krstarenju udaljenosti 500NM ispod optimalne razine leta**

Tip zrakoplova	Povećanje potrošnje goriva (kg)	Povećanje potrošnje goriva (%)	Povećanje emisija CO <sub>2</sub> (kg)
<b>A319-132</b>	184	7.9	579.6
<b>A320-211</b>	158	6.2	497.7
<b>A320-232</b>	187	7.9	589.05
<b>A321-112</b>	155	5.5	488.25
<b>A330-203</b>	324	5.5	1020.6
<b>A330-343</b>	342	5.6	1077.3
<b>A340-212</b>	393	6.2	1237.95
<b>A340-313E</b>	378	6.0	1190.7
<b>A340-500/600</b>	336	4.1	1058.4

Kako bi zrakoplov letio najisplativijom mogućom brzinom, uzevši u obzir potrošeno gorivo i vrijeme potrebo za dostizanje odredišta, uvodi se pojam „*Cost index*“. Vrijednost je to koja daje omjer između troška vremena (odnosno fiksnih troškova kao što su troškovi operacija, pilota, kabinskog osoblja, održavanja, trošenja oplata zrakoplova, korištenje motora...) i troška

za gorivo, a koristi se za izračunavanje optimalne brzine krstarenja zrakoplova. Slikom 16 prikazan je primjer odabira optimalnog indeksa troškova uzevši u obzir potrošnju goriva i vrijeme leta za Airbus A319. Vidljivo je da nije baš pretjerano učinkovito letjeti na vrlo niskim indeksima troškova budući da uštede na gorivu nisu toliko značajne u usporedbi s gubitkom vremena. Korištenjem malo više goriva, pri malo većim indeksima troškova, ostvaruju se značajne uštede na vremenu. Za ovaj specifičan primjer, koji je manje-više jednak za sve zrakoplove, vidljivo je da povećanje indeksa troškova sa 0 na 20 smanjuje vrijeme provedeno u zraku za 15 minuta (5%), a sve to za povećanje potrošnje goriva od 200kg (2%) na udaljenosti od 2000NM. [35]



Slika 16 – Potrošnja goriva i vrijeme leta u odnosu na indeks troškova za let od 2000NM



## 6 IZRAČUN ŠTETNIH EMISIJA I UŠTEDA PRIMJENOM PROGRAMA ZA UČINKOVITO TROŠENJE GORIVA NA PRIMJERU ZRAČNOG PRIJEVOZNIKA

Iz prethodnih poglavlja vidljivo je da je mnogo čimbenika koji utječu na potrošnju goriva zrakoplova. U ovom poglavlju više će se usmjeriti na operativne zahtjeve i planiranje zračnih prijevoznika, korištenje prije spomenutih tehnologija i metoda za učinkovito trošenje goriva. Operacije koje se obavljaju na zrakoplovu dok je na zemlji mogu utjecati na njegovu masu pri polijetanju. To uključuje poslove poput čišćenja zrakoplova, zamjenu ili dolijevanje vode, unošenje hrane i slično. Jednom kada zrakoplov poleti, optimalna razina leta i brzina na istoj postaju bitni čimbenici pri potrošnji goriva. Odabir pravilne rute, odnosno dobro planirane u odnosu na vremenske uvjete, ograničenja u zračnom prometu, ograničenja kontrole letenja i drugih može znatno utjecati na vrijeme koje zrakoplov provede u zraku.

Emisijski čimbenik reprezentativna je vrijednost koja nastoji povezati količinu zagađivača otpuštenog u atmosferu s aktivnošću povezanom s otpuštanjem tog zagađivača. Taj čimbenik se obično iskazuje kao masa zagađivača dobivena aktivnošću određene mase tvari koja ga stvara. Konkretno, pri izgaranju jednog kilograma zrakoplovnog goriva Jet-A1 dobije se 3.16 kilograma CO<sub>2</sub>. Isto vrijedi i za Jet A gorivo, dok emisijski čimbenik za AvGas i Jet B iznosi 3.10. [40] Ukoliko je gorivo iskazano u litrama, treba ga preračunati u kilograme, uzevši u obzir gustoću od 0.804 g/cm<sup>3</sup>. Uzevši u obzir:

- Emisijski čimbenik (tona CO<sub>2</sub> / tona goriva) = 3.15
- Gustoća goriva = 0.804 kg/L

koriste se formule koje koriste i zračni prijevoznici u svrhu praćenja i izvještavanja:

$$\text{Masa potrošenog goriva} = \text{volumen potrošenog goriva} * \text{gustoća goriva}$$

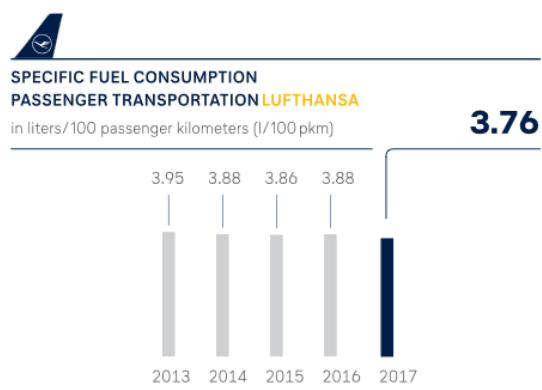
$$\text{Količina emisija} = \text{Masa potrošenog goriva} * \text{emisijski čimbenik}$$

Budući da na masu potrošenog goriva utječe niz različitih čimbenika iz operativnog dijela leta, nekoliko njih bit će predstavljeno u nastavku.

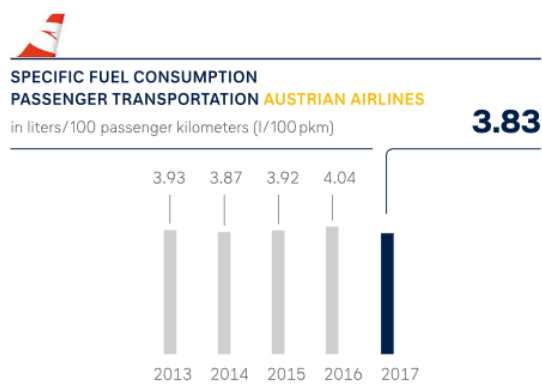
## 6.1 Lufthansa grupa

Lufthansa grupa iz godine u godinu povećava svoju učinkovitost trošenja goriva i smanjenje ispuštanja zrakoplovnih emisija. Mjere koje poduzimaju su ulaganje u nove zrakoplove unutar svoje flote kao i razvijanje i implementiranje mjera za učinkovito trošenje goriva u već postojeću flotu. Unutar grupe koja obuhvaća *Lufthansu*, *Austrian Airlines*, *Swiss*, *Eurowings* postavljen je rekord u učinkovitosti trošenja goriva. U 2017. godini, njihovi zrakoplovi su u prosjeku trošili 3.68 litara kerozina za postizanje 100 kilometara po putniku. Za usporedbu, u 2016. godini te brojke su iznosile 3.85L/100pkm. To predstavlja 4.5% smanjenje potrošnje u usporedbi s prošlom godinom. Kao svoj cilj navode daljnje smanjenje od 1.5% godišnje. Potrošnja goriva po 100 putničkih kilometara za svaku pojedinu članicu grupe vidljiva je na slici 17. Moguće je vidjeti da je svaki član grupe napredovao u odnosu na prethodnu godinu. [41]

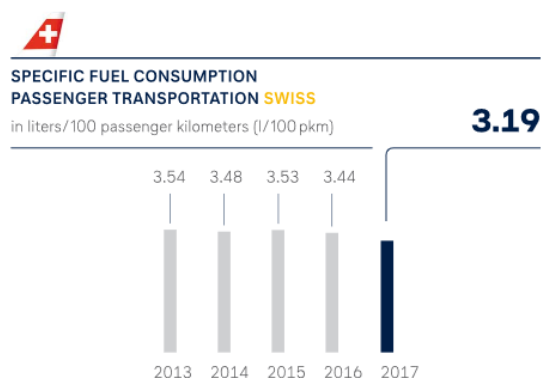
### Lufthansa



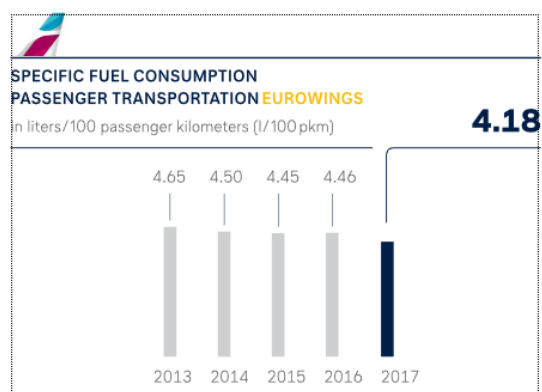
### Austrian Airlines



### SWISS



### Eurowings



Slika 17 – Napredak Lufthansa grupe u potrošnji goriva na 100 putničkih kilometara za razdoblje 2013-2017

U svojem godišnjem izvješću održivosti „Balance“ za 2018. godinu koji uključuje prijevoznike: *Lufthansa* (zajedno sa *Lufthansa CityLine* i *Air Dolomiti*), *SWISS* (zajedno sa *Edelweiss Air*), *Austrian Airlines*, *Eurowings* (zajedno sa *Germanwings*), *Brussels Airlines*, *Lufthansa Cargo*, tablicom 15 predstavljeni su pojedini podaci o ukupnoj potrošnji goriva i količini ispuštenih emisija.

**Tablica 15 – Ukupna potrošnja goriva za 2016. i 2017. godinu**

<b>POTROŠNJA RESURSA</b>	<b>2017. godna</b>	<b>2016. godina</b>	<b>Promjena (%)</b>
Potrošnja goriva	9 618 095 tona	9 055 550 tona	+ 6.2%
Specifična potrošnja goriva, putnički promet	3.68 l/100pkm	3.85 l/100pkm	- 4.5%
Specifična potrošnja goriva, teretni promet	215 g/tkm	224 g/tkm	- 4.1%
<b>EMISIJE</b>	<b>2017. godna</b>	<b>2016. godina</b>	<b>Promjena (%)</b>
Emisije CO <sub>2</sub>	30 296 998 tona	28 524 981 tona	+ 6.2%
Emisije CO <sub>2</sub> , putnički promet	9.27 kg/100pkm	9.71 kg/100pkm	- 4.5%
Emisije dušikovih oksida	151 402 tona	139 008 tona	+ 8.9%
Emisije dušikovih oksida, putnički promet	46.1 g/100pkm	47.0 g/100pkm	- 1.9%
Emisije ugljikovog monoksida	21 922 tona	19 320 tona	+ 13.5%
Emisije ugljikovog monoksida, putnički promet	7.2 g/100pkm	7.1 g/100pkm	+ 2.4%
Neizgoreni ugljikovodici	2226.1 tona	1880.4 tona	+ 18.4%
Neizgoreni ugljikovodici, putnički promet	0.7 g/100pkm	0.7g/100pkm	+ 7.8%

Prema godišnjem izvješću za 2017. godine, grupa je ostvarila 1 130 008 letova što je 10.6% povećanje u odnosu na godinu ranije. Ukupno je prevezeno 130 040 000 putnika, 18.6% povećanje u odnosu na 2016. godinu. Ostvareno je 261,156 milijuna putničkih kilometara, 15.2% povećanje u odnosu na godinu ranije. Na dnevnoj bazi, Lufthansa grupa, koja se trenutno

sastoji od 728 zrakoplova, obavi oko 3096 letova, preveze 356 274 putnika i posluži 1.91 milijuna obroka. [52],[41]

Lufthansa ima jedan od vrlo značajnih utjecaja na programe razvoja i nastanka novih i učinkovitijih zrakoplova. Primjerice, jedni su od glavnih grupa koja predstavlja zahtjeve potrebne za novi Boeing 777-9, koji bi u promet trebao biti pušten 2020. godine, uzevši u obzir učinkovitost zrakoplova, utjecaj na okoliš, razine buke i udobnost i zahtjeve putnika. Također, sudjelovali su i u projektu nastanka Airbusa 320neo gdje su pomogli nastanku i uvođenju novih, posebno tihih i učinkovitih motora proizvedenih od tvrtke Pratt & Whitney. Vrlo je važno spomenuti da su prvi zračni prijevoznik u povijesti koji je 2011. godine testirao uporabu biogoriva u uvjetima za svakodnevno odvijanje operacija. Svoje starije zrakoplove polako mijenjaju novima, a većina starih bude rastavljena na dijelove i izlazi iz svojeg uporabnog ciklusa. Razmotrili su i mogućnost uporabe električne energije kao potiska, ali istraživanjima jednostavno nisu mogli dobiti dovoljnu količinu energije koja bi služila namjeni zračnog prijevoza. Kako bilo, električnu energiju koriste u drugim sustavima unutar zrakoplova kako bi se smanjilo opterećenje APU i potrošnja goriva. [41]

Kada je u pitanju briga za okoliš, Lufthansa pridaje iznimnu pažnju novim tehnologijama, smanjenju buke i nepotrebnom ispuštanju zrakoplovnih emisija. Kako bi održali sistematičnu kontrolu i neprekidnu optimizaciju procesa vezanih za zaštitu okoliša, Lufthansa radi na uvođenju sustava za upravljanje zaštitom okoliša u svoju grupu s obzirom na ISO 14001 i EMAS (*eng. Eco-Management and Audit Scheme*).

Ciljevi koje su postavili i prihvatili 2009. godine, a zasnivaju se i primjenjuju diljem svijeta uključuju [41]:

- Učinkovitost trošenja goriva povećavat će se 1.5% godišnje do 2020. godine
- Od 2020. nadalje, rast u civilnom zrakoplovstvu odvijat će se bez povećanja emisija CO<sub>2</sub> (*eng. CO<sub>2</sub> neutral growth*)
- Do 2050. godine, neto količina emisija ugljikovog dioksida smanjit će se za 50% u odnosu na 2005. godinu
- Dodatno, Grupa je postavila cilj smanjenja emisija ugljikovog dioksida za 25% do 2020. u odnosu na 2006. godinu. Trenutno su postigli 64% svojeg cilja s krajem 2017. godine

## 6.2 Turkish Airlines

Turkish Airlines zanimljiv je zračni prijevoznik posebno zbog pozicije svojeg sjedišta. Upravo je *Ataturk, Istanbul* sjedište povezano s najvećim brojem destinacija i Turkish je to dobro iskoristio kako bi planirao svoju flotu na najučinkovitiji način. To im omogućava korištenje uskotrupnih zrakoplova na mnoga odredišta gdje drugi prijevoznici koriste zrakoplove većeg doleta.

### 6.2.1 Zelena politika

U Turkishu se iznimno ponose svojom zelenom politikom i redovito izvještavaju o količini uštede papira. Svojim *DCMS* projektom uštede papira prebacuju zadaće koje su se uobičajeno ispunjavale pisanim putem na elektroničke zapise. To uključuje izvješća i informacije o liniji koju lete, gdje su na 325 međunarodnih letova dnevno uštedjeli 975, odnosno 355 875 komada papira godišnje. Izvješćima o održavanju kabine koji su također prebačeni na tablete uštedjeli su 1 087 355 komada papira godišnje, a isto tako, prebačena su i izvješća o količini potrošene i potrebne vode i održavanju i čišćenju putničke kabine čime je također postignuta ušteda od 1 087 355 na 993 letova dnevno. Sveukupno, uštedili su 2 530 000 komada papira godišnje. Uzevši u obzir standardni papir od primjerice 80gr/m<sup>2</sup> dolazi se do izračuna da su ti papiri težili 16 849.8kg. Turkish je tim putem smanjio emisije CO<sub>2</sub> za otprilike 53 tone. Dalje, smanjenjima papira u neke operativne svrhe uštedili su prosječno 7 kilograma po zrakoplovu i smanjili emisije za 91 tonu CO<sub>2</sub>. [42]

### 6.2.2 Smanjenje potrošnje goriva

Politika smanjenja goriva Turkish Airlinesa sastoji se od tri glavna stupa:

1. Optimizacija aktivnosti u letu i na zemlji
2. Ulaganje u razvoj i implementaciju novih tehnologija
3. Poboljšanje infrastrukture

Te aktivnosti provode se pomoću Odbora za upravljanje gorivom. Također, rade na razvoju zamjenskog tipa goriva i shodno tome ciljaju na smanjenje ispuštanja stakleničkih plinova u atmosferu. Sveukupno, kroz 2016. godinu smanjili su emisije ugljikovog dioksida za 138 522 tone i uštedjeli oko 43 975 tona goriva kroz svoju politiku o učinkovitom trošenju goriva. Te uštede postignute su kroz [43]:

- Uvođenje i izmjena letaćkih operacija – 87%
- Izmjena u načinu otpreme zrakoplova – 5%
- Izmjene i uvođenje noviteta u tehničko održavanje – 6%
- Izmjene i uvođenje noviteta u zemaljske operacije – 2%

Detaljnije, procedure kojima su postigli svoje uštede prikazane su tablicom 16.

**Tablica 16 - Procedure kojima je Turkish Airlines ostvario smanjenje potrošnje goriva i emisija CO<sub>2</sub> [42]**

<b>Procedura</b>	<b>Ušteda goriva (t)</b>	<b>Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> (t)</b>
„Idle reverse“	10 292	32 419.8
Voženje jednim motorom	5948	18735
Korištenje niske postavke zakrilca	7984	25148
Zahtijevanje i planiranje kraće rute leta	69	218
Smanjenje mase zrakoplova i uklanjanje nepotrebne mase	540	1071
Povećanje učestalosti pranja motora i pregleda zrakoplova	2234	7036
Bolje planiranje pri točenju dodatnog goriva	7457	23 489.55
Procedure pri otpremi zrakoplova	5100	16064
Mali pomaci u granicama osjetljivosti za masu bez goriva za let	482	1519

## 6.3 Croatia Airlines

Croatia Airlines jedini je hrvatski zračni prijevoznik koji spada pod EU ETS. Kao i ostali, brine o zaštiti okoliša, smanjenju zrakoplovnih emisija i izgaranja nepotrebne količine goriva. Stoga, razvili su svoje mjere učinkovitog trošenja goriva. Specifično za njihove metode je duljina njihovih ruta na kojima lete. Pretežito su to operacije kratkog i srednjeg doleta. Jedna od linija koje će biti promatrane je redovna linija Zagreb-Dubrovnik, posebno popularna u ljetnim mjesecima.

### 6.3.1 Flota Croatia Airlinesa

Flota Croatia Airlinesa trenutno se sastoji od 2 Airbusa A320-200, 4 Airbusa A319-100 i 6 Dasheva 8-Q400. 2021. godine pridružit će im se 2 nova Airbusa A320neo, a godinu dana kasnije još 2. Neke važne karakteristike koje navode za svoje zrakoplove dane su tablicom 17.

Tablica 17 – Flota i karakteristike zrakoplova Croatia Airlinesa

	Airbus A320-200	Airbus A319-100	Dash 8 Q-400
Broj zrakoplova	2	4	6
Broj sjedala	174	144	76
Raspon krila	34.10 m	34.10 m	28.42 m
Duljina trupa	37.60 m	33.84 m	32.83 m
Dopuštena težina	73500 kg	70000 kg	29257 kg
Najveća visina leta	11920 m	11900 m	7620 m
Površina krila	122.40 m <sup>2</sup>	122.40 m <sup>2</sup>	63.08 m <sup>2</sup>
Najveća brzina leta	834 km/h (450kts)	834 km/h (450kts)	667 km/h (360kts)
Pogonska grupa	2 x CFM56	2 x CFM56	2 x PW 150A

### 6.3.2 Pokretači promjena prema smanjenju potrošnje goriva

Kao glavne pokretače promjena u Croatia Airlinesu navode [44] :

- Visoke cijene goriva
- Sve veći trošak za emisije

- Lokalne namete po pitanjima ekologije
- Nove regulatorne obveze
- Ekološku prihvatljivost i održivost
- Društvena odgovornost
- Očekivanja korisnika/partnera
- Svjesnost o okolišu

Prema dobivenim podacima, prosječno vrijeme leta na ruti Zagreb-Dubrovnik iznosi 52 minute za zrakoplove Airbus A320 i A319, a u prosjeku potroše 2.2 tone goriva i otprilike 6.93 tone emisija CO<sub>2</sub>. Posebice preko ljeta, povratne rute se često mijenjaju. To ovisi o mogućim čekanjima i zasićenosti jedne od ruta. Koji puta na polijetanju iz Dubrovnika avioni CA idu direktno preko prostora BiH, a koji puta nastave Hrvatskim zračnim prostorom otprilike do Splita ili Zadra i tek onda dobiju direktne rute prema Zagrebu. Tu odluku donosi dispečer zračnog prijevoznika, izrađuje plan i prenosi ga posadi.

### **6.3.3 Korištenje pomoćne jedinice napajanja**

Airbusi CA na zračnoj luci Dubrovnik imaju uspostavljenu uslugu prijema preko aviomostova. Dok su tamo, nerijetko koriste svoj APU čija je prosječna potrošnja goriva 110kg/sat, što je prosječna vrijednost za oba moda rada, električni i klimatizacijski. Rad i potrošnja APU mjeri se na mjesečnoj bazi. U Croatia Airlinesu se trude što manje koristiti pomoćnu jedinicu napajanja, ali to nije uvijek moguće, uvelike ovisi o tipologiji zračne luke. Na nekim zračnim lukama moguće je klimatizirati kroz aviomost ukoliko je i on klimatiziran, a u iznimno toplim danima, uporaba APU za klimatizaciju je neizbježna. Treba napomenuti da neke zračne luke uopće ne dopuštaju korištenje APU pri ulazu na stajanku. Na zračnoj luci Dubrovnik je on omogućen. Dashevi se po dolasku na stajanku zračne luke Dubrovnik spajaju na zemaljsku jedinicu napajanja (GPU).

### **6.3.4 Voženje zrakoplova i voženje pomoću jednog motora**

Nakon što je zrakoplovu omogućeno paljenje motora i izguravanje iz parkirne pozicije, piloti traže voženje do pozicije za čekanje. Za zračnu luku Dubrovnik, vrijeme voženja je propisano na 10 minuta. U praksi ono ovisi o mnogo čimbenika. Najčešće je to vrijeme voženja nešto kraće, otprilike 6 do 7 minuta. Neki puta piloti voze brže kako bi mogli stići poletjeti



unutar regulacije koja im je dana i kojoj su podložni, a neki puta voze sporije jer primjerice kabinsko osoblje i putnici nisu još spremni za polijetanje. Moguća su ograničenja podloge kojom voze pa se primjerice na određenim voznim stazama zahtjeva voženje manjom brzinom zbog nosivosti kolnika za određene teže zrakoplove. Pri voženju, A319/320 troše otprilike 13.6 kg/min, odnosno 10.2kg/min za voženje jednim motorom. Za Dasheve to iznosi nešto manje, otprilike 8kg/min, odnosno oko 6kg/min za voženje jednim motorom. Ušteda voženjem jednim motorom iznosi otprilike 25%. Razlog tome što nije primjerice 50% je u tome što se pri voženju daje veći gas, pa se otpušta, nadomješta se rad jednog motora, a pri tome je preporučljivo imati uključen i APU što također troši gorivo. Voženje jednim motorom radi se na obje flote (kao preporuka posadama), a posade na Dashu procjenjuju kako se ono izvodi u 60% slučajeva gdje je to moguće. To uvelike ovisi o zračnim lukama, vremenu voženja (primjerice za Airbuse se preporuča vrijeme paljenja drugog motora od 4 minute), vremenskim uvjetima, trenju i stanju staze za voženje (voda, snijeg, led), uzvišenja na stazi i slično. Uzevši u obzir kratko vrijeme voženja na zračnoj luci Dubrovnik, voženje jednim motorom se i ne koristi toliko. Piloti Dasha ga koriste u većini slučajeva po napuštanju uzletno-sletne staze nakon slijetanja dok voze prema parkirnoj poziciji.

#### **6.3.5 Potrošnja goriva starenjem zrakoplova i pogonske grupe**

Za pretpostaviti je da će se starenjem strukture zrakoplova i starenjem zrakoplovnih motora povećavati i potrošnja goriva. U današnje vrijeme velika većina zračnih prijevoznika unajmljuje motore i svi su više-manje unutar zadanih parametara po pitanju potrošnje. Croatia Airlines prati potrošnju goriva zrakoplova i rade analize minimalno svakih 6 mjeseci za obje flote. Prema njihovim podacima, potrošnja se neprestano mijenja. Primjerice, ugradi se motor koji troši 20 kg/bh više od prethodnog, ali se zatim obnovi boja zrakoplova pa se potrošnja pak smanji za 30 kg/bh. Kao što je spomenuto, stariji zrakoplovi u pravilu više i troše. Stoga Croatia Airlines, prema svojim mogućnostima, također teži moderniziranju flote kao što je to primjer s novima A320neo koji su spomenuti ranije. Potrošnja po kilogramu goriva na 100 putničkih kilometara prikazana je slikom 18. [44]



Slika 18 – Potrošnja goriva prema 100 putničkih kilometara za razdoblje 1993.-2016.

Slike 19 i 20 prikazuju količinu ispuštenih zrakoplovnih emisija CO<sub>2</sub> za letove unutar Hrvatske i za letove u inozemstvo. Kao bazna godina za izračune uzeta je 2015. godina, a dani podaci prikazuju količinu CO<sub>2</sub> po ostvarenom putničkom kilometru. [44]

#### Airbus A319/A320 flota (6 zrakoplova)

Godina	CO2 količina unutar RH (kg) po RPKM	Godišnja promjena/indeks	CO2 količina na međunarodnim letovima (kg) po RPKM	Godišnja promjena/indeks
2013	0,1770	93,94	0,1252	104,76
2014	0,1815	96,33	0,1201	100,50
2015	0,1884	100,00	0,1195	100,00
2016	0,1886	100,10	0,1187	99,33

Slika 19 – Količina ispuštenih emisija CO<sub>2</sub> prema ostvarenim putničkim kilometrima za Airbus 310/320

#### Dash8 Q400 flota (6 zrakoplova)

Godina	CO2 količina unutar RH (kg) po RPKM	Godišnja promjena/indeks	CO2 količina na međunarodnim letovima (kg) po RPKM	Godišnja promjena/indeks
2013	0,1739	99,20	0,1349	103,13
2014	0,1747	99,65	0,1314	100,45
2015	0,1753	100,00	0,1308	100,00
2016	0,1729	98,63	0,1310	100,15

Slika 20 - Količina ispuštenih emisija CO<sub>2</sub> prema ostvarenim putničkim kilometrima za Dash8 Q400

### 6.3.6 Čišćenje zrakoplova i motora

Već je prije spomenuta mogućnost smanjenja mase i potrošnje goriva kroz čišću oplatu zrakoplova i čišće motore. U Croatia Airlinesu dobro znaju za ovaj problem i pranje zrakoplova i motora je sastavni dio programa održavanja zrakoplova. U pravilu, pranje zrakoplova odvija se jednom u tri mjeseca, dok se pranje motora izvodi jednom do dva puta godišnje. Problem ljeti javlja se zbog dostupnosti zrakoplova. Pranje obično traje otprilike 4 sata po zrakoplovu. Vrlo je bitno da zrakoplov što duže provede u zraku i donese što veći prihod, a pri pranju nije baš moguće raditi nešto drugo po pitanju održavanja na zrakoplovu. Zimi su problem niske temperature i često tretiranje zrakoplova tekućinama za odleđivanje (*eng. de-icing*). Tada se prakticira čišćenje i poliranje zrakoplova sredstvima na suho. Ponekad se ne peru cijeli zrakoplovi već samo određeni dijelovi radi lakšeg održavanja, primjerice staljni trap se odmašćuje da bi se lakše moglo raditi na njemu. Nakon pranja zrakoplova, isti se mora i podmazati. Na Airbusima se to radi na otprilike 78 točaka gdje se stavlja mazalica i utiskuje mast, što iziskuje dodatno vrijeme. U Croatia Airlinesu navode kako su zrakoplove ove godine oprali već 21 put.

Što se tiče pranja motora, ono se izvodi, osim regularnog od otprilike 2 puta godišnje, svaki puta kada se vidi pomak u marginama motora. Inženjeri kontinuirano promatraju temperature motora i promjene u temperaturama ispušnih plinova. Jedna od zanimljivosti koje navode je program pranja njihovih starijih zrakoplova ATR-42 koji su imali zadano pranje motora svakih tjedan do 10 dana po preporuci proizvođača jer se Hrvatska nalazi u zoni povišene slanosti.

Budući da Croatia Airlines nema toliko veliku flotu kao što to ima primjerice Turkish Airlines, i budući da je za njih vrlo teško ponoviti zadane uvjete nekoliko puta, nije lagano mjeriti točan učinak smanjenja goriva nakon pranja motora. Ono dakako postoji, ali kažu kako su nakon nekoliko pokušaja dobili određene rezultate kojima nisu mogli sa sigurnošću dobiti točne brojke, a budući da i uzorak nije velik, i rezultati su manje vrijednosti. Poteškoće im stvaraju periodi kada zrakoplov primjerice radi mnogo kratkih rotacija, motor se opere, a zrakoplov potom iz poslovnih razloga radi mnogo mješovitih (kratkih i dugih) rotacija i potrošnja goriva se povećava. Ipak, pranje motora donosi im smanjenje u temperaturi ispušnih plinova za nekoliko stupnjeva. To ne samo da smanjuje i potrošnju goriva, već i produžuje životni vijek motora.

### 6.3.7 Smanjenje potrošnje goriva uvodeći lakše materijale

Svi zračni prijevoznici znaju da smanjenje mase praznog zrakoplova otvara nove mogućnosti, povećanje količine raspoloživog plaćenog tereta za prijevoz ili smanjenje potrošnje goriva. U svakom slučaju radi se izjednačavanje između jednog i drugog.

Primjerice, Croatia Airlines je prije nekoliko godina starija i teža sjedala na Airbusima zamijenila novim i lakšim, što im je također omogućilo da izmijene i konfiguraciju unutar zrakoplova, u A319 povećavajući broj sjedala sa 132 na 144, a kod A320 sa 162 na 174 sjedala. Uz povećanje broja sjedala, također su olakšali zrakoplova za oko 200kg, što bi bilo smanjenje od otprilike 630kg emisija CO<sub>2</sub>. Dashevi su već u početku isporučeni sa lakšim *slim* kožnim sjedalima.

Po pitanju časopisa u letu (*eng. in-flight magazines*), oni su nekada davno bili mase i do 1.5kg. Oni sada iznose 500gr, smanjena je njihova masa kao i broj samih časopisa time što se više ne nose nepotrebne velike količine zamjenskih. Dakako, treba uzeti u obzir da je to također jedan od prihoda Croatia Airlinesa, dio promotivnih aktivnosti i dobit od oglašivača.

Tepisi u zrakoplovima konstantno se troše i uništavaju pa se shodno tome stalno i mijenjaju. Prije nekoliko godina, Croatia je zamijenila stare tepihe novim i lakšim i tako olakšali A320 za otprilike 80kg. Budući da nema toliko puno proizvođača tepiha za zrakoplove, sama izrada tepiha je vrlo slična za sve pa nema baš puno mjesta za daljnji napredak.

Velike uštede postigli su boljim planiranjem količine vode koju nose na svojim letovima. Spremnik vode u Airbusu ima 250 litara, dok je u Dashu puno manji, 34 litre. Problem im predstavljaju indikatori na Airbus floti, 4 Airbusa ih imaju, a 2 nemaju. U kabini su izrađeni za praćenje punoće spremnika po četvrtinama, a na zrakoplovu izvana je riječ o analognim pokazateljima pa se nerijetko događa da punitelj otvori vodu i napuni više nego što Croatia želi. Zato su na otvor spremnika stavili naljepnicu kojom žele da se spremnici pune samo do polovice, „*Fill 50% only!*“. Što se tiče flote Dasheva, obzirom da su spremnici 34 litre, nema nekih mogućnosti smanjivanja, a zimi vode u zrakoplovu uglavnom nema već se za pranje ruku koriste mokre maramice što je uobičajeno na svim elisno-mlaznim zrakoplovima na kontinentu radi zamrzavanja noću i puknuća cijevi i sličnog. Konačno, smanjenjem nošenja 50% vode za toalet, godišnje se smanjuju emisije CO<sub>2</sub> za otprilike 40 tona po Airbus zrakoplovu, smanji se potrošnja goriva za oko 12.5t i uštedi se oko 100 tona vode.

Jedno od stvari koje su razmotrili je i uvođenje novih kolica za posluživanje hrane i pića, ali za oprema je vrlo skupa i period povrata sredstava je daleko predug, čemu je u ovom trenutku pogodovao i pad cijena goriva.

Zbog udaljenosti na kojima lete, nisu im isplativi ni neki od sustava odvlaživanja. Oni se većinom koriste na prekooceanskim letovima. Nekolicina prijevoznika je radila eksperimente na A320 unutar Europe, ali nisu izvijestili o postignutim rezultatima.

## 7 SMJERNICE RAZVOJA U PODRUČJU PRIMJENE METODA ZA UČINKOVITO TROŠENJE GORIVA

Moglo bi se reći da je zračni promet u jednu ruku već zasićen metodama za učinkovito trošenje goriva, barem onim konvencionalnim. Većina je uložila velike napore kako bi dostigli učinkovitost kakvu imaju sada mijenjajući sjedala svojih zrakoplova, smanjujući količinu vode i papira koje nose, flote su sve modernije, zrakoplovni motori sve manje troše... Postavlja se pitanje daljnjeg napretka budući će na bazi Europe, a i međunarodno, uvjeti biti sve stroži i kazne za plaćanje prekoračenih emisijskih jedinica sve veće. Za primjer, zračni prijevoznici koji moraju kupiti dodatne emisijske jedinice (velika većina), prošle su godine u ovo doba plaćali 5 eura po emisijskoj jedinici, dok ove godine prema trenutno stanju plaćaju čak 20 eura. Nije na odmet spomenuti niti varijaciju cijenu mlaznog goriva za mlazne motore na koju se nije lako osloniti da će biti stabilna. Stoga, rješenje problema traži se u drugoj vrsti goriva, biogoriva i razne mješavine kako bi se postotak ugljika smanjio na najmanju moguću vrijednost, ili čak potpuno zamijenio. Nove strukture i dizajn zrakoplova trebao bi povećati učinkovitost i smanjiti potrošnju goriva za čak 27%. Također postoji i mogućnost povratka elisno-mlaznih motora na veće zrakoplove što je svakako veliki plus, budući da su oni iznimno učinkoviti na male udaljenosti.

### 7.1 Open-rotor motori

Open rotor tip motora je elisno-mlazni motor koji pogoni dva propelera velike brzine koji se okreću u suprotnim smjerovima. Upotrebom nove aerodinamike i novih materijala može se očekivati povratak elisnih motora na većim zrakoplovima, uz veće brzine i manje razine buke. Ovaj tip motora prvi put je razvijen 1980-ih, ali nije nastavljen zbog relativno niske cijene goriva. Sada, kada je zanimanje i potreba za učinkovitijem trošenjem goriva veći nego ikad i kada postoji više mogućnosti za različitu izradu motora, ovaj koncept motora mogao bi opet krenuti u opticaj. Testiranja u aerotunelima na prototipovima pokazali su da bi ovakvi motori pružili smanjenje od čak 25-30% potrošnje goriva u odnosu na sadašnje motore, uz zadovoljavanje standarda buke. Nagada se da bi mogli ući u operativni rad do 2020 godine. Dvije elise koje se okreću u suprotnim smjerovima funkcioniraju na način da prva onemogućuje zraku da izađe, dok druga vuče i ravna struju zraka. Većina struje zraka radi točno ono što se događa i kod optočno-mlaznih motora što znači da ovi motori omogućuju let većim brzinama i pružaju veći potisak. Prema mjerenjima tvrtke *Saffron*, moguće su brzine od 0.76 Mach. Samim

time što motor nema kućište, lakši je od elisno-mlaznih motora kakve sada znamo, iako je otprilike dvostruko veći. U Saffronu kažu kao neće biti problema pri montiranju na krila zrakoplova, a čak se može koristiti montiran na trup ispred repa zrakoplova u V varijanti. Već postoje prototipovi ove vrste motora i podliježu svakodnevnim testiranjima. Slika 21 pokazuje prvo uspješnu pojavu i paljenje ovog motora u Istresu, Francuska. [45]



Slika 21 – *Open-rotor* motor predstavljen u Francuskoj

## 7.2 Aerodinamika zrakoplova

Znanstvenici iz Instituta tehnologije u Massachusettsu (MIT) smatraju da je moguće zamijeniti uobičajen oblik trupa zrakoplova. U projektu kojeg financira NASA, nazvanom „*Double bubble*“ rade na jedinstvenom trupu koji se zapravo sastoji od dva spojena trupa umjesto jednog velikog. Također, bio bi pogonjen pomoću dva motora montirana sa stražnje strane. Rich Wahls, znanstvenik NASA-e kaže kako je ideja da se uzgon djelomično dobiva i iz trupa, ne samo krila, što bi omogućilo postavljanje puno lakših, užih krila napravljenih od



kompozitnih materijala. Whals kaže kako bi ovaj koncept zrakoplova bio 60 do 70% učinkovitiji nego sadašnji putnički zrakoplovi. Polovica te učinkovitosti bila bi zbog novog oblika, a polovica zbog toga što se pretpostavlja da bi tipična brzina u krstarenju bila Mach 0.72. Također, motori bi bili smješteni tako da uvlače granični sloj sa trupa zrakoplova, smanjujući otpor zrakoplova što bi dodatno omogućilo motorima da za isti potisak koriste manje goriva. Koncept je prikazan slikom 22. [46]



Slika 22 – „Double bubble“

Slično tome, Boeing je također razvio projekt pod NASA-inim programom i nazvao ga *SUGAR* (eng. *Subsonic Ultra Green Aircraft Research*). U tom projektu krila zrakoplova bila bi na trupu i učvršćena za stajni trap zrakoplova, nešto kao i kod primjerice Cessne 172. Boeingovi inženjeri vjeruju kako mogu smanjiti dodatan otpor prouzrokovan podupiranjem i napraviti dulja, lakša i viša krila smanjujući potrošnju goriva. U prosjeku, iz Boeinga tvrde kako bi ovaj tip krila mogao smanjiti potrošnju goriva za otprilike 60%. Boeing također razmatra električne sustave za stvaranje potiska. Konvencionalni motori bi se i dalje koristili za svrhu polijetanja, ali jednom kada je u fazi krstarenja, zrakoplov bi mogao koristiti električnu energiju za pogon. Koncept je prikazan slikom 23. [46]





Slika 23 – Boeingov „SUGAR“

### 7.3 Nova vrsta goriva

U današnje vrijeme posebno je popularna tema biogoriva, no ona su u upotrebi i duže nego što se misli, samo još uvijek s velikom zadržkom. Ranije je spomenuto kako je Lufthansa eksperimentirala s biogorivima i ustanovila kako ne mogu ostvariti dovoljne količine energije za operacije kakvima se bave. Biogoriva su odobrena za komercijalnu upotrebu u srpnju 2011. godine. Od tada, nekoliko je zračnih prijevoznika probalo njihov učinak na svojim komercijalnim letovima. Industrija se okreće prema biogorivu druge generacije koja se ne bi poremetila zalihe hrane ili poremetila agrikulturu i zalihe svježe vode. NASA je istražila kako bi se mješavinom sa 50% biogoriva smanjilo zagađivanje zraka uzrokovano zračnim prometom za 50 do 70%. [49]

Obećavajuće je, iako još uvijek pod istraživanjem, biogorivo nastalo pomoću alga, Jatrophe, masti, Babassu ulja, Cameline koje tvori bio-SPK (eng. *Bio derived synthetic paraffinic Kerosene*). Jedni od glavnih investitora u ovakav tip goriva su primjerice Boeing, Honewell, Air New Zealand, Continental Airlines, Japan Airlines, General Electric. Također,

vrijedi spomenuti i istraživanje gdje se alkoholom, etanolom i butanolom radi deoksidacija i daljim procesima dovodi ih se to goriva.

Mnoštvo je primjera gdje su zračni prijevoznici koristili biogorivo u svojim letovima. Većinom su to eksperimenti sa 20-50% mješavinama goriva i biogoriva u jednom motoru. Primjerice, još 2008. Air New Zealand je na svojem Boeingu 747 obavio dvosatni let mješavinom 50% goriva i 50% Jatrophe na motoru broj 1. Nakon što su motor skinuli i pogledali, nisu pronašli nikakve razlike između tog motora i motora pogonjenog isključivo Jet A1. Također, nikakav utjecaj na performanse zrakoplova nije pronađen. Godinu kasnije, Continental Airlines je napravio prvi let na gorivu napravljenom od algi. Zrakoplov je letio na 38000 stopa, a piloti su izveli i vježbu gašenja motora. Bez ikakvih problema obavili su cijeli let, a dobiveni rezultati pokazali su nisku točku zapaljivosti i dovoljno nisku točku leđišta, problematika koja se inače javljala za druga biogoriva.

Prvi komercijalni let pomoću biogoriva obavio je KLM svojim Boeingom 737-800, noseći 171 putnika na ruti Amsterdam-Paris. Koristili su biogorivo dobiveno od otpadnog ulja.

Postavlja se pitanje zašto se onda biogoriva već ne koriste u cijelosti kada su toliko dobra i kada bi omogućila uštede koje se nalažu. Budući da su još uvijek u fazi razvoja, nailaze na probleme. Neki od njih su primjerice to što bi se pri smjesama gdje bi količina biogoriva prelazila 50% narušila zapaljivost smjese. Također, na većim visinama leta i na niskim temperaturama kod nekih goriva dolazilo je do zaleđivanja. Infrastruktura za masovnu produkciju biogoriva i dostavu istog prema aerodromima još praktički ne postoji, samo u Los Angelesu i Oslo. Trenutno, samo 1% od ukupno potrošenog goriva pripada biogorivima.

Jedan od glavnih razloga zašto biogorivo nije toliko rašireno, a koji malo ljudi spominje je cijena. Biogoriva su u pravilu dva do tri puta skuplja od uobičajenog goriva za mlazne motore budući da se proizvode u vrlo malim količinama, a cijena goriva nije nešto pretežito visoka zadnjih godina. Ta razlika u cijeni bi se svakako smanjila ukoliko bi se proizvodnja biogoriva povećala. Da bi se to dogodilo treba doći do međunarodnog sporazuma o tehničkim standardima, kako bi se osiguralo da će nova goriva održati zrakoplov sigurnim u zraku. Uz to također se treba pokazati da bi ta goriva stvarno i bila bolja za planet Zemlju više nego uobičajena goriva koja trebaju zamijeniti. Tehničke standarde trebao bi postaviti ASTM koji je spomenut ranije u radu. Budući da se trenutno istražuje puno različitih rješenja, vrlo je teško dobiti podatke za baš određeni tip biogoriva. Gledajući sa strane održivosti, nema dvojbe da bi se emisije CO<sub>2</sub> smanjile, no treba provjeriti hoće li proizvodnja biogoriva izmaknuti kontroli i

uzrokovati deforestaciju, smanjiti količinu hrane, naškoditi ekosustavu i slično. Iako pravila o mjeranju održivosti postoje u Americi i Europskoj uniji, potreban je globalni standard koji bi dopustio svih zrakoplovima da koriste određeno gorivo koje je certificirano kao održivo u svim zemljama i aerodromima diljem svijeta, nešto kao što je Jet A1 trenutno. Robert Boyd za IATA-u kaže kako je malo vjerojatno da će količina biogoriva iznositi 10% ukupnog goriva čak i u razdoblju od 7 godina. [49]

## 8 ZAKLJUČAK

Iako je ekološka svjesnost sve prisutnija kako kod ljudi, putnika, tako i kod zračnih prijevoznika, ne smije se zaboraviti jedna stvar, to su tvrtke i pogoni ih novac. Nema dvojbe da se potrošnja goriva drastično smanjivala kroz zadnjih dvadesetak godina, ali isto tako moguće je bilo vidjeti da su u vremenima prije ETS-a, a pogotovo u vrijeme niskih cijena goriva, zračni prijevoznici povećano trošili gorivo iskorištavajući maksimum iz svojih operacija. Razlog zašto svaki od prijevoznika povećava svoju flotu je vrlo jednostavan. Potražnja je sve veća i to im se svakako isplati. Neprestana je to borba za putnike kojih iako je sve više, traže sve niže cijene prijevoza. Uz to što se zračnim prijevoznicima postavljaju ograničenja po pitanju raspoloživih emisijskih jedinica koje smiju potrošiti i ukoliko ih potroše previše moraju ih kupiti dodatno ili će biti penalizirani puno većim svotama, trebaju se boriti kako bi nadoknadili eventualne gubitke smanjenjem cijena karata (gdje ionako većina cijene odlazi na aerodromske pristojbe). Iako velika većina podliježe modernizaciji svoje flote i programima učinkovitog trošenja goriva, na kraju se dolazi do jednog zaključka, isplativost. Ovisno o tipu operacija koje obavljaju i ruta na kojima lete, neka ulaganja i mjere učinkovitog trošenja goriva su isplativi i može se očekivati povrat novca kroz neko određeno vrijeme, a neka nisu. Zračni prijevoznici rade timove ljudi koji su zaduženi upravo za to. Problem na koji nailaze je neprestan pomak i otkriće nečeg novog što bi im dodatno moglo smanjiti potrošnju goriva, a s druge strane, neke tehnologije su zapuštene i nema prevelikog prostora za pomak. Budući da je zrakoplovstvo jedna velika masa koja se neprestano širi, vrlo je važno dobro je kontrolirati. Već sada su prognoze o povećanju zračnog prometa vrlo visoke, a isto tako i prognoze o zrakoplovnim emisijama, neke s mogućim lošim posljedicama. Nije zrakoplovstvo jedini krivac, ali kao jedan od najbrže rastućih industrija, pruža mu se određeni dio pažnje. Države i udruženja zajedno pružaju napore kako bi ograničile daljnji rast zrakoplovnih emisija kroz održivi tip goriva i obnovljive izvore energije, za dobrobit cijelog čovječanstva. Budući da je većina međunarodnih sporazuma još u vrlo ranim fazama, preostaje vidjeti kako će se cijela situacija razvijati. Pozitivno je što je odaziv zračnih prijevoznika dosta velik, čak i u fazama koje su dobrovoljne za sudjelovanje, što je moguće povezati s pogodnostima koje dobivaju u kasnijim fazama sporazuma, a možda čak i s dobrim glasom među medijima i korisnicima. Malo plaši činjenica da jedan od zračnih prijevoznika s najvećom stopom zagađenja planira do 2024. godine proširiti svoju flotu na 520 zrakoplova, a nisu jedini. Postavlja se problem zagušenosti zračnog prostora što je pak tema za neki drugi rad.

## LITERATURA

1. *Aviation Fuels – Tehnical review* –  
([https://www.cgabusinessdesk.com/document/aviation\\_tech\\_review.pdf](https://www.cgabusinessdesk.com/document/aviation_tech_review.pdf)) – preuzeto:  
(19. travnja 2018.)
2. *Handbook of Aviation Fuel Properties*, Coordinating Research Council – preuzeto:  
(<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a132106.pdf>) - (20. travnja 2018.)
3. *Jet Fuel Thermal Oxidation Test (JFTOT)* – preuzeto:  
(<https://www.amspecllc.com/wp-content/uploads/2017/09/amspectechtalkjetfuelthermaloxidation.pdf>) – (20. travnja 2018.)
4. *Thermal expansion* – preuzeto: (<https://physics.info/expansion/summary.shtml>) – (20. travnja 2018.)
5. *Maxwell Smith-Aviation Fuels* (Henley-on-Thames : Foulis, 1970.)
6. *Reid Method test* – preuzeto: ([ASTM D323 - 06 Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products \(Reid Method\)](#)) – (23. travnja 2018.)
7. ASTM D 4865, *Standard Guide for Generation and Dissipation of Static Electricity in Petroleum Fuel Systems*,) – preuzeto: (24. travnja 2018.)
8. ASTM D 6469, *Standard Guide for Microbial Contamination in Fuel and Fuel Systems*). – preuzeto: (24. travnja 2018.)
9. *Radiative Forcing* – preuzeto: (<https://www.britannica.com/science/radiative-forcing>) – (3. lipnja 2018.)
10. IPCC Fifth Assessment Report - Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. – preuzeto: ([https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_Chapter08\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf)) (4. svibnja 2018.)
11. McNeil BI, Matear RJ (2008). [Southern Ocean acidification: A tipping point at 450-ppm atmospheric CO<sub>2</sub>](#). preuzeto – (4. svibnja 2018.)
12. *Radiative Forcing from aviation effects* – preuzeto :  
(<http://www.grida.no/climate/ipcc/aviation/006.htm#spm41>) (4. svibnja 2018.)
13. (Bernhardt, J. & Carleton, A.M. (2015). The impacts of long-lived jet contrail ‘outbreaks’ on surface station diurnal temperature range. *Jrnl of Int'l Climatology*. Online-early July – preuzeto: (6. svibnja 2018.)
14. Moore, R.H.; et al. (2017). ["Biofuel blending reduces particle emissions from aircraft engines at cruise conditions"](#)) preuzeto: (7. svibnja 2018.)

15. Impacts of aviation fuel sulfur content on climate and human health – preuzeto:  
(<https://www.atmos-chem-phys.net/16/10521/2016/acp-16-10521-2016.pdf>)  
10. svibnja 2018.
16. *The EU Emissions Trading System (EU ETS) factsheet* – preuzeto:  
([https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/factsheet\\_ets\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/factsheet_ets_en.pdf)) (11. svibnja 2018.)
17. *Publication of the total number of allowances in circulation in 2017 for the purposes of the Market Stability Reserve under the EU Emissions Trading System established by Directive 2003/87/EC* – preuzeto:  
([https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/ets/reform/docs/c\\_2018\\_2801\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/ets/reform/docs/c_2018_2801_en.pdf)) (11. svibnja 2018.)
18. Ministarstvo zaštite okoliša i energetike – preuzeto:  
(<https://www.mzoip.hr/en/climate/emissions-trading-system.html>) (12. svibnja 2018.)
19. EAA Report No 18/2017 – *Trends and projections in the EU ETS 2017* (15. svibnja 2018.)
20. *United Nations Framework Convention on Climate Change – Fact sheet: The Kyoto Protocol* preuzeto: (15. svibnja 2018.)
21. Provedbena odluka komisije od 8. studenoga 2013. o izmjeni Odluke 2006/944/EZ kako bi se uvrstila razina emisija dodijeljenih Republici Hrvatskoj na temelju Kyotskog protokola – preuzeto: (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0644&from=EN>) (17. svibnja 2018.)
22. *Kyoto 2nd commitment period (2013-2020)* – preuzeto:  
[https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto\\_2\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_2_en) (17. svibnja 2018.)
23. *2020 climate & energy package* – preuzeto:  
([https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en)) (17. svibnja 2018.)
24. Pariški sporazum o klimatskim promjenama – preuzeto:  
(<http://www.consilium.europa.eu/hr/policies/climate-change/timeline/>) (18. svibnja 2018.)
25. *Klimatske promjene: „Kako će EU ostvariti ciljeve?“* – preuzeto:  
<http://www.consilium.europa.eu/hr/infographics/paris-agreement-tools-info/> (18. svibnja 2018.)
26. *ICAO CORSIA Factsheet* – preuzeto: ([https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/CorsiaBrochure\\_8Panels-ENG-Web.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/CorsiaBrochure_8Panels-ENG-Web.pdf)) (20. svibnja 2018.)

27. *Atmosfair Airline indeks 2017* – preuzeto:  
([https://www.atmosfair.de/en/air\\_travel\\_and\\_climate/atmosfair\\_airline\\_index/](https://www.atmosfair.de/en/air_travel_and_climate/atmosfair_airline_index/)) (21. svibnja 2018.)
28. *The top 6 technologies for improving aircraft fuel efficiency* – preuzeto:  
(<https://prescouter.com/2018/01/technologies-improving-aircraft-fuel-efficiency/>) (21. svibnja 2018.)
29. *ICCT: „Size matters for aircraft fuel efficiency. Just not in the way that you think.“* – preuzeto: (<https://www.theicct.org/blog/staff/size-matters-for-aircraft-fuel-efficiency>) – (13. svibnja 2018.)
30. *Brandon Graver, Ph.D., and Daniel Rutherford, Ph.D : “Transpacific Airline Fuel Efficiency Ranking, 2016“* – preuzeto: (24. svibnja 2018.)
31. *FlightGlobal „Delta becomes first North American A350 operator“* – preuzeto:  
(<https://www.flightglobal.com/news/articles/delta-becomes-first-north-american-a350-operator-439303/>) (23. svibnja 2018.)
32. *NASA – Winglets* – preuzeto: (<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/winglets.html>) (25. svibnja 2018.)
33. *ATAG: „Beginners guide to aviation efficiency“* - preuzeto:  
([http://www.safug.org/assets/docs/ATAG\\_EfficiencyGuide\\_NEW\\_FIN\\_X1a.pdf](http://www.safug.org/assets/docs/ATAG_EfficiencyGuide_NEW_FIN_X1a.pdf)) 1. lipnja 2018.
34. *George Marsh: „Composites flying high“* –preuzeto:  
(<https://www.materialstoday.com/composite-applications/features/composites-flying-high-part-1/>) (1. lipnja 2018.)
35. *Airbus – Getting to grips with fuel economy – Flight operations support & line assistance* – preuzeto: (<http://ansperformance.eu/references/library/airbus-fuel-economy.pdf>) (3. lipnja 2018.)
36. *Boeing – Operational Advantages of Carbon Brakes* – preuzeto:  
([https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr\\_03\\_09/article\\_05\\_1.html](https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_03_09/article_05_1.html)) (5. lipnja 2018.)
37. *MTU AeroEngines, Pratt & Whitney PW1000GW* – preuzeto:  
(<https://www.mtu.de/engines/commercial-aircraft-engines/narrowbody-and-regional-jets/pw1000g/>) (7. lipnja 2018.)
38. *Skybrary – Continuous Descent* – preuzeto:  
([https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous\\_Descent](https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous_Descent)) (7. lipnja 2018.)

39. *Fuel consumption during Continuous Descent Operations* – preuzeto: (<https://www.nlr.org/blog/fuel-consumption-during-continuous-descent-operations/>) (10. lipnja 2018.)
40. *Verifavia* – preuzeto: (<https://www.verifavia.com/greenhouse-gas-verification/fq-how-are-aircraft-co2-emissions-calculated-11.php>) (12. lipnja 2018.)
41. „Balance“ – *Sustainability report, Issue 2018- Lufthansa Group* – preuzeto: (1. srpnja 2018.)
42. *Turkish Airlines – Environmental Performance Report 2016* – preuzeto: (3. srpnja 2018.)
43. *Turkish Airlines – Sustainability report 2016* – preuzeto: (3. srpnja 2018.)
44. *Autorizirana prezentacija: Dino Kučić, dipl.ing. specijalist za održivi razvoj*
45. (<https://fly-skylark.com/2017/10/03/successful-start-of-open-rotor-demonstrator/>) preuzeto: (5. srpnja 2018.)
46. „Reshaping Flight for Fuel Efficiency: Five Technologies on the Runway“ - (<https://news.nationalgeographic.com/news/energy/2013/04/130423-reshaping-flight-for-fuel-efficiency/>) preuzeto: (5. srpnja 2018.)
47. „NASA confirms biofuels reduce jet emissions“ – preuzeto: (<https://www.flyingmag.com/nasa-confirms-biofuels-reduce-jet-emissions>) (5. srpnja 2018.)
48. *KLM history timeline* – (preuzeto: <https://www.klm.com/corporate/en/about-klm/history/>) (6. srpnja 2018.)
49. „Why aren't all commercial flights powered by sustainable fuel?“ – preuzeto: (<https://www.economist.com/the-economist-explains/2018/03/15/why-arent-all-commercial-flights-powered-by-sustainable-fuel>) (11. srpnja 2018.)
50. *ATAG – Facts and figure* – preuzeto: (<https://www.atag.org/facts-figures.html>) (2. kolovoza 2018.)
51. *UN environment: „Emissions Gap report 2017“ – Executive summary* – preuzeto: ([https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22101/EGR\\_2017\\_ES.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22101/EGR_2017_ES.pdf?isAllowed=y&sequence=1)) (13. svibnja 2018.)
52. *Lufthansa group: Investor info-December 2017.* – preuzeto: (<https://investor-relations.lufthansagroup.com/fileadmin/downloads/en/financial-reports/traffic-figures/Lufthansa/2017/LH-Investor-Info-2017-12-e.pdf>) (5. srpnja 2018.)



## POPIS SLIKA

Slika 1 - Utjecaj zračenja emisijama nastalih izgaranjem zrakoplovnog goriva [12] ..	12
Slika 2 – Količina mijenjanih emisijskih jedinica unutar Europe za razdoblje do 2015. godine [16] .....	17
Slika 3 – Usporedba cijena emisijskih jedinica za zračni i zemaljski sektor [19].....	19
Slika 4 – Najveći potrošači goriva i emiteri u 2017. [19] .....	20
Slika 5 – Postotak promjene količine ispuštenih emisija u odnosu na prethodnu 2016. godinu [19] .....	21
Slika 6 – Ponuda i potražnja emisijskih jedinica u 2016. godini [19].....	22
Slika 7 – Napredak prema ispunjavanju Europskih ciljeva za razdoblje 2020-2030 (ukupni broj emisija stakleničkih plinova u EU) [24].....	26
Slika 8 – Plan EU o postizanju ciljeva do 2030 iz Pariškog sporazuma [25] .....	27
Slika 9 – Osobni i sektorski faktor [26].....	28
Slika 10 – Postizanje granice neutralog rasta ugljika pomoću operativnih unaprijeđenja, tehnologije zrakoplova i održivim gorivima i CORSIA-om [26] .....	29
Slika 11 – Obveza zemalja s obzirom na sudjelovanje u CORSIA projektu [26].....	30
Slika 12 – Razlika navedenih učinkovitosti zrakoplova s obzirom na industrijski standard [29].....	33
Slika 13 – Učinkovitost 20 zračnih prijevoznika na prekopacifičkim rutama za 2016. godinu [30] .....	34
Slika 14 - Utjecaj zakrivljenih vrhova krila na nastajanje vrtloga [32].....	39
Slika 15 – Iznos goriva za slučaj nužde s obzirom na udaljenost sektora [35] .....	56
Slika 16 – Potrošnja goriva i vrijeme leta u odnosu na indeks troškova za let od 2000NM .....	63
Slika 17 – Napredak Lufthansa grupe u potrošnji goriva na 100 putničkih kilometara za razdoblje 2013-2017.....	65
Slika 18 – Potrošnja goriva prema 100 putničkih kilometara za razdoblje 1993.-2016. ....	73
Slika 19 – Količina ispuštenih emisija CO <sub>2</sub> prema ostvarenim putničkim kilometrima za Airbus 310/320.....	73
Slika 20 - Količina ispuštenih emisija CO <sub>2</sub> prema ostvarenim putničkim kilometrima za Dash8 Q400.....	73
Slika 21 – <i>Open-rotor</i> motor predstavljen u Francuskoj.....	78

Slika 22 – „ <i>Double bubble</i> “ .....	79
Slika 23 – Boeingov „ <i>SUGAR</i> “ .....	80

## POPIS TABLICA

Tablica 1 - Ugljikovodici pronađeni u zrakoplovnom gorivu za mlazne motore.....	4
Tablica 2 - Povezanost gustoće goriva i energetske vrijednosti.....	5
Tablica 3 – Količina ispuštenih emisija CO <sub>2</sub> za navedene zračne prijevoznike u razdoblju 2012-2016 .....	23
Tablica 4 - Prijevoznici na kojima je rađeno istraživanje o učinkovitosti goriva na prekopacifičkim rutama [30].....	36
Tablica 5 - Karakteristike zrakoplova koje su spomenuti prijevoznici koristili [30] ...	37
Tablica 6 – Potrošnja pomoćne jedinice napajanja za dva različita moda rada [35] .....	42
Tablica 7 – Razlika u potrošnji goriva pri korištenju motora umjesto APU i izračun emisija CO <sub>2</sub> .....	44
Tablica 8 – Uštede na masi ugradnjom karbonskih kočnica umjesto čeličnih.....	45
Tablica 9 – Uštede goriva voženjem s jednim/ dva motora umjesto svim motorima ..	58
Tablica 10 – Najčešći uzroci povećanog aerodinamičkog otpora s utjecajem na potrošnju goriva.....	59
Tablica 11 – utjecaj promjene brzine u penjanju na potrošnju goriva izraženo u kilogramima [35].....	60
Tablica 12 – utjecaj promjene brzine u penjanju na vrijeme potrebno za dostizanje do optimalne razine leta [35].....	61
Tablica 13 – Razlika u specifičnom doletu s obzirom let s razlikom u odnosu na optimalnu razinu leta.....	61
Tablica 14 – Razlika u potrošnji goriva za let u krstarenju udaljenosti 500NM ispod optimalne razine leta .....	62
Tablica 15 – Ukupna potrošnja goriva za 2016. i 2017. godinu.....	66
Tablica 16 - Procedure kojima je Turkish Airlines ostvario smanjenje potrošnje goriva i emisija CO <sub>2</sub> [42].....	69
Tablica 17 – Flota i karakteristike zrakoplova Croatia Airlinesa.....	70



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada  
pod naslovom **IZRAČUN SMANJENJA ŠTETNIH EMISIJA MLAZNIH MOTORA**  
**PRIMJENOM PROGRAMA UČINKOVITOG TROŠENJA GORIVA**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom  
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 19.9.2018 \_\_\_\_\_

Student/ica:

*Dario Fejzić*  
(potpis)